

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Drtič litiny

Cast-Iron Crusher

Student:

Bc. Tomáš Hradecký

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Hradecký**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **20 Výrobní stroje a zařízení**
Téma: **Drtič litiny**
Cast-Iron Crusher

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekčně-konstrukční návrh drtícího zařízení sloužícího k drcení litinového odpadu. Drtič bude určen k drcení kusového litinového odpadu. K pohonu využijte hydraulické pohony. Při návrhu klad'te důraz na jednoduchost způsobu zavážení a odbavování drceného materiálu a celé koncepce stroje.

Výchozí parametry:

Max. vstupní rozměr kusu drcené litiny: 2000 mm
Max. výstupní rozměr kusu drcené litiny: cca 300 mm
Max. drtící síla: 6000 kN
Čas jednoho cyklu: cca 60 s
Tlak v hydraulickém obvodu: 32 MPa
Max. výkon drtiče: cca 8 t.h-1

Proveďte:

- stručné zhodnocení stávajícího stavu techniky v dané oblasti,
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení v návaznosti na výkresovou dokumentaci a výpočtovou část technické zprávy,
- projekční návrh kompletního řešení drtičky litiny,
- detailní konstrukční opracování řešení lisovní skříně a drtícího mechanismu jako celku včetně během zpracování určených konstrukčních uzlů,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu min.2xA0.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1]FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*
[2]ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
[3]HORYL. P.: *Statika a dynamika* - 2. vyd. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 218 s. ISBN 80-7078-971-9
[4]NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
[5]LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
[6]POLICKÝ, J.: *Úpravárenské stroje I.* VUT Brno 1987.

- [7]Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.
[8]Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3.).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сдѣнано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было сдѣнано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....
podpis studenta

Tomáš Hradecký
Gregorova 1411/14
741 01 Nový Jičín

Poděkování

Děkuji panu doc. Dr. Ing. Ladislavu Kovářovi za odbornou a velmi užitečnou pomoc, kterou mi poskytl při zpracování mé diplomové práce.

Anotace diplomové práce

HRADECKÝ, T. Drtič litiny: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 80 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář.

Diplomová práce se zabývá projekčně konstrukčním návrhem drtícího zařízení sloužícího k drcení litiny. Toto zařízení bude umístěno v hale na šrotišti.

Práce je rozdělena do několika částí. První, teoretická část, se věnuje základním vlastnostem litiny, řeší recyklačních strojů, jejich historickému vývoji a rozdělení podle jednotlivých výrobců. Druhá, praktická část, se věnuje požadavkům, které má stroj splňovat a různým variantám, jak tyto požadavky splnit. Poslední část je věnována výpočtům nezbytným pro projekční návrh. Součástí diplomové práce je výkresová dokumentace o rozsahu 2xA0.

Annotation of master thesis

HRADECKÝ, T. Cast-Iron crusher: diploma thesis. Ostrava: VŠB - Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 80 p. Thesis head: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář.

Diploma thesis deals projection-design concept of crushing equipment especially designed for crushing cast-iron. This equipment will be located in the hall of the scrap yard.

Thesis is divided into several parts. First theoretical part attends to basic properties of cast-iron, search report of recycling machines, their historical development and division by manufacturers. The second practical part is devoted to the requirements that the machine has to accomplish and various options available to accomplish this requirements. The last part is devoted to necessary calculations for the design proposal. The thesis also includes drawings of range 2xA0.

Seznam použitých symbolů a zkratk

Pořadí	Zkratka	Veličina	Jednotka
1	D	Max. velikost zrna před zpracováním	[m]
2	$D_{1\max}$	Max. průměr pístu drtiče	[m]
3	$D_{1\min}$	Min. průměr pístu drtiče	[m]
4	D_2	Průměr pístu	[m]
5	F	Drtící síla	[N]
6	F_G	Tíhová síla	[N]
7	F_{Gk}	Tíhová síl zavezené komory	[N]
8	F_{\max}	Max. drtící síla	[N]
9	F_{\min}	Min. drtící síla	[N]
10	F_n	Normálová síla	[N]
11	F_p	Pohybová síla	[N]
12	F_R	Reakční síla	[N]
13	F_{rA}	Reakční síla	[N]
14	F_{rB}	Reakční síla	[N]
15	F_t	Třecí síla	[N]
16	F_v	Výsledná síla	[N]
17	F_z	Zdvihací síla	[N]
18	$F_{z\min}$	Minimální zdvihací síla	[N]
19	F_{zy}	Svislá složka zdvihací síly	[N]
20	$M_{0\max}$	Max. ohybový moment	[N.m]
21	M_k	Kroutící moment elektromotoru	[N.m]

Pořadí	Zkratka	Veličina	Jednotka
22	$P_{h \max}$	Max. výkon hydromotoru	[W]
23	$P_{h \min}$	Min. výkon hydromotoru	[W]
24	Q	Hodinový výkon drtiče	[t.h ⁻¹]
25	$Q_{1A \max}$	Max. průtok na přívodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
26	$Q_{1A \min}$	Min. průtok na přívodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
27	$Q_{1B \max}$	Max. průtok na vývodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
28	$Q_{1B \min}$	Min. průtok na vývodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
29	Q_{2A}	Průtok na přívodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
30	Q_{2B}	Průtok na vývodu u pístu drtícího ramene	[m ³ .s ⁻¹]
31	S	Obsah plochy	[m ²]
32	$S_{1D \max}$	Max. plocha průřezu pístu drtiče	[m ²]
33	$S_{1d \max}$	Max. plocha průřezu pístnice drtiče	[m ²]
34	$S_{1D \min}$	Min. plocha průřezu pístu drtiče	[m ²]
35	$S_{1d \min}$	Min. plocha průřezu pístnice drtiče	[m ²]
36	$S_{1D-d \max}$	Max. plocha průřezu pístu bez pístnice drtiče	[m ²]
37	$S_{1D-d \min}$	Min. plocha průřezu pístu bez pístnice drtiče	[m ²]
38	S_{2D}	Plocha průřezu pístu	[m ²]
39	S_{2d}	Plocha průřezu pístnice	[m ²]
40	S_{2D-d}	Plocha průřezu pístu bez pístnice ($D_1 - d_1$)	[m ²]
41	$V_{g \min}$	Min. geometrický objem hydromotoru	[m ³]
42	$V_{g \max}$	Max. geometrický objem hydromotoru	[m ³]
43	W_0	Modul průřezu v ohybu	[mm ³]

Pořadí	Zkratka	Veličina	Jednotka
44	Z	Stupeň zdrobnění	[-]
45	a	Zrychlení	[m.s ⁻²]
46	c	Rameno síly působící na čep	[m]
47	d	Max. velikost zrna po zpracování	[m]
48	d _{1d max}	Max. průměr pístnice drtiče	[m]
49	d _{1d min}	Min. průměr pístnice drtiče	[m]
50	d ₂	Průměr pístnice	[m]
51	d _č	Průměr čepu	[m]
52	d _š	Střední průměr šroubu	[m]
53	f	Součinitel smykového tření	[-]
54	g	Tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
55	h' ₁	Posuv na píst	[m]
56	h ₁	Celkový posuv	[m]
57	h ₂	Celkový posuv	[m]
58	l	Rameno zdvihací síly zavezené komory	[m]
59	m	Hmotnost závačky	[kg]
60	m _k	Hmotnost drtící komory	[kg]
61	n ₁	Otáčky hydromotoru	[ot.min ⁻¹]
62	p	Pracovní tlak	[Pa]
63	p _D	Dovolený tlak šroubu	[Mpa]
64	p _{D1}	Dovolený tlak v táhlu	[Mpa]
65	p _{D2}	Dovolený tlak ve vidlici	[Mpa]
66	r	Roztečný poloměr ozubeného kola	[m]

Pořadí	Zkratka	Veličina	Jednotka
67	$t_{1A \max}$	Max. čas posuvu vpřed na plunžr	[s]
68	$t_{1A \min}$	Min. čas posuvu vpřed na plunžr	[s]
69	$t_{1A \min}$	Min. čas posuvu vpřed na plunžr	[s]
70	$t_{1B \max}$	Max. čas posuvu vpřed na píst	[s]
71	$t_{1B \min}$	Min. čas posuvu vpřed na píst	[s]
72	$t_{1C \max}$	Max. čas posuvu zpět	[s]
73	$t_{1C \min}$	Min. čas posuvu zpět	[s]
74	t_{2A}	Čas posuvu vpřed na píst	[s]
75	t_{2B}	Čas posuvu zpět	[s]
76	$t_c \max$	Výpočet maximální doby jednoho drtícího cyklu	[s]
77	$t_c \text{ vysypání}$	Čas potřebný k vysypání rozdrceného šrotu	[s]
78	$t_{cp \max}$	Celková maximální doba periody	[s]
79	$t_{cp \min}$	Celková minimální doba periody	[s]
80	$t_{\text{náběh}}$	Čas potřebný k náběhu na plný průtok	[s]
81	$t_{\text{přestavení}}$	Čas potřebný pro přestavení hydraulických prvků	[s]
82	t_r	Čas potřebný k rozjezdu a brzdění hydraulického válce	[s]
83	u	Šířka ramen vidlice	[m]
84	v	Šířka táhla	[m]
85	v_1	Rychlost pístnice	[m.s ⁻¹]
86	v_2	Rychlost pístnice	[m.s ⁻¹]
87	x	Rameno tíhové síly zavezené komory	[m]
88	α	Úhel skluzu	[°]

Pořadí	Zkratka	Veličina	Jednotka
89	β	Úhel záchytu čelistí	[°]
90	γ	Úhel zdvihací síly F_z a svislé složky F_{zy}	[°]
91	π	Ludolfovo číslo	[-]
92	σ_0	Ohybové namáhání	[Mpa]
93	σ_{D0}	Dovolené ohybové namáhání	[Mpa]
94	τ_{Ds}	Dovolené smykové namáhání	[Mpa]
95	τ_s	Smykové namáhání	[Mpa]
96	ϕ	Úhel tření	[°]

Obsah

1.	Úvod	15
2.	Rešerše zpracování litinového šrotu	16
2.1.	Firma ATM Recyclingsystems GmbH	18
2.2.	Firma S.A. COPEX	22
2.3.	Firma HAMMEL Recyclingtechnik GmbH	25
2.4.	Firma Bonfiglioli S.p.A	27
3.	Varianty řešení.....	29
3.1.	Požadavky	29
3.2.	Technický systém	29
3.3.	Specifikace požadavků	31
3.4.	Funkce technického systému	32
3.5.	Orgánová struktura	32
3.6.	Stavební struktura drtiče litiny	34
3.7.	Způsob pohybu drtící čelisti	35
3.8.	Řešení tvaru zubů styčných ploch	38
3.9.	Řešení vyprázdnění drtící komory	42
4.	Technický popis zařízení.....	45
5.	Výpočtová část	47
5.1.	Výpočet hydraulického válce drtícího ramene	47
5.1.1.	Zadané a zvolené parametry	47
5.1.2.	Min. průměr $D_{l \min}$ pístu drtiče litiny	48
5.1.3.	Max. průměr $D_{l \max}$ pístu drtiče litiny.....	48
5.1.4.	Min. plocha $S_{lD \min}$ průřezu pístu drtiče litiny	48
5.1.5.	Max. plocha $S_{lD \max}$ průřezu pístu drtiče litiny	48
5.1.6.	Min. plocha $S_{ld \min}$ průřezu pístnice drtiče litiny	48
5.1.7.	Max. plocha $S_{ld \max}$ průřezu pístnice drtiče litiny	48
5.1.8.	Min. průměr $d_{l \min}$ pístnice drtiče litiny	49

5.1.9.	Max. průměr $d_{l \max}$ pístnice drtiče litiny	49
5.1.10.	Min. plocha $S_{1D-d \min}$ průřezu pístu bez pístnice drtiče litiny	49
5.1.11.	Max. plocha $S_{1D-d \max}$ průřezu pístu bez pístnice drtiče litiny	49
5.1.12.	Min. průtok $Q_{1A \min}$ na přívodu u pístu drtícího ramene	49
5.1.13.	Max. průtok $Q_{1A \max}$ na přívodu u pístu drtícího ramene	49
5.1.14.	Min. průtok $Q_{1B \min}$ na vývodu u pístu drtícího ramene	49
5.1.15.	Max. průtok $Q_{1B \max}$ na vývodu u pístu drtícího ramene	50
5.1.16.	Čas t_r potřebný k rozjezdu a brzdění hydraulického válce	50
5.1.17.	Min. čas $t_{1A \min}$ posuvu vpřed na plunžr	50
5.1.18.	Max. čas $t_{1A \max}$ posuvu vpřed na plunžr	50
5.1.19.	Min. čas $t_{1B \min}$ posuvu vpřed na píst.....	50
5.1.20.	Max. čas $t_{1B \max}$ posuvu vpřed na píst.....	50
5.1.21.	Min. čas $t_{1C \min}$ posuvu zpět.....	50
5.1.22.	Max. čas $t_{1C \max}$ posuvu zpět.....	50
5.1.23.	Celková minimální doba periody $t_{cp \min}$	51
5.1.24.	Celková maximální doba jedné periody $t_{cp \max}$	51
5.1.25.	Min. geometrický objem $V_{g \min}$ hydromotoru	51
5.1.26.	Max. geometrický objem $V_{g \max}$ hydromotoru	51
5.1.27.	Min. výkon $P_{h \min}$ hydromotoru.....	51
5.1.28.	Max. výkon $P_{h \max}$ hydromotoru	51
5.2.	Výpočet úhlu záchyty čelistí	52
5.3.	Výpočet stupně zdrobnění	55
5.4.	Výpočet úhlu skluzu pro vyprázdnění komory	56
5.5.	Výpočet síly potřebné pro zdvih komory	59
5.6.	Výpočet hydraulických válců pro zvedání drtící komory	61
5.6.1.	Min. průměr D_2 zvedacího pístu	61
5.6.2.	Min. plocha S_{2D} průřezu pístu	61
5.6.3.	Min. plocha S_{2d} průřezu pístnice	61

5.6.4.	Min. průměr d_2 pístnice	61
5.6.5.	Průtok Q_{2A} na přívodu pístu	61
5.6.6.	Průtok Q_{2B} na vývodu pístu.....	62
5.6.7.	Čas t_r potřebný k rozjezdu a brzdění hydraulického válce	62
5.6.8.	Čas t_{2A} posuvu vpřed.....	62
5.6.9.	Čas t_{2B} posuvu zpět	62
5.6.10.	Celková maximální doba jedné periody vysypání t_c vysypání	62
5.7.	Volba elektromotoru pro otevírání víka	62
5.8.	Výpočet maximální doby jednoho drtícího cyklu $t_{c \max}$	64
5.9.	Výpočet výkonu drtiče litiny	65
5.10.	Návrh čepu pohyblivé čelisti	66
5.10.1.	Kontrola ohybového napětí.....	67
5.10.2.	Kontrola smykového napětí	70
5.10.3.	Kontrola tlakového napětí.....	71
5.11.	Návrh šroubového jištění uložení hydraulického válce	73
5.12.	Kontrola středního dílu hydraulického válce metodou MKP	74
6.	Závěr	76
7.	Seznam použité literatury	77
8.	Seznam obrázků.....	79
9.	Seznam tabulek.....	80
10.	Seznam příloh	80

1. Úvod

Litina je slitina železa s uhlíkem. Obsah uhlíku musí být vyšší než 2,14 % (slitina, která má menší obsah uhlíku, se nazývá ocel) podle binárního diagramu železo-uhlík. Má vysokou odolnost vůči tlaku a teplotě a zároveň nízkou pružnost. Litiny, u kterých je uhlík vyloučen ve formě grafitu, jsou tzv. litiny samomazné. [12]

Litiny se rozlišují a dělí podle způsobu vyloučení grafitu (uhlíkových zrn) ze železa. Tvar a velikost grafitu je určující pro vlastnosti litin, určuje jejich křehkost a tvrdost. Rozlišit vyloučení grafitu lze pod mikroskopem. [12]

- Tvárná litina - litina s kuličkovým grafitem - vysoké mazací schopnosti litiny.
- Šedá litina - litina s lupínkovým grafitem - vysoká schopnost tlumit rázy a chvění.
- Bílá litina - grafit se nevyloučí, zůstane v litině vázán na železo a vznikne karbid železa, litina se stává velice tvrdou a křehkou.
- Temperovaná litina - litina s vločkovým grafitem.

Litina se vyrábí ze surového železa a litinového i ocelového šrotu s koksem a vápencem. Vyrábí se v kuplovně (také kupolní či kupolové peci, pozor nikoliv kopulové!), tavicí peci válcovitého tvaru při teplotě okolo 1 500 °C. Při pomalém ochlazování vzniká šedá litina, při rychlém ochlazování vzniká bílá litina. Takovéto litiny mají nežádoucí vlastnosti a musí se dále zpracovávat:

- Šedá litina bývá modifikována (očkována) hořčíkem, vzniká litina tvárná neboli očkováná (neboli také vazná). Ta je podstatně pevnější než litina šedá, houževnatější a tvárnější, používá se na výrobu ozubených kol, vložených válců či vložek válců motorů, vačkových a klikových hřídelí.
- Odlitky z bílé litiny jsou příliš tvrdé a těžko obrobitelné. Proto se odlitky dlouhodobě žíhají (až 6 hodin) při 900 °C, čímž povrch změkne a dá se snáze obrábět. Pak je litina označována už jako temperovaná. [12]

Stejně jako jiné oblasti našeho „právního“ života, řídí se i obor recyklace (zpracování odpadů) příslušnými zákony, nařízeními, vyhláškami, předpisy a normami. Základním z nich v této oblasti je zákon č. 125/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů. Pro zpracování ocelového a litinového odpadu platí norma ČSN 42 0030. [13]

Tato norma stanovuje termín litinový odpad jako nový a starý odpad legovaných a nelegovaných litin. [13]

Nový odpad vzniká při výrobě ocelí a litin nebo při zpracování jejich polotovarů na finální výrobky; je bez příměsí a má charakter materiálu z něhož vznikl. Za starý odpad se považuje odpad z vyřazených výrobků a jejich částí. [13]

2. Rešerše zpracování litinového šrotu

Drtič (nebo drtička) je stroj sloužící k rozmělnění materiálu do formy zrn, ne však až na prach (k tomu slouží mlýny). Konstrukce drtiče vychází z fyzikálních vlastností drceného materiálu. [6]

Drtiče, např. pro komunální odpad, mají dvě hřídele, na nich jsou nasunuta kola, o kterých lze říci, že jsou ozubená, ale kola jsou k sobě přitisknuta boky a zuby kol jsou profilovány tak, aby při otáčení hřídelí v protiběžném směru fungovaly jako nůžky. Přestože je materiál vlastně stříhán, používá se pro takovýto stroj název drtič. [6]

Na drcení materiálů jako je kámen se používá drtič, u něhož jsou proti sobě umístěny dvě desky, z nichž jedna je pevná a druhá kyvná. Poloha desek je svislá, ale taková, že nikdy nejsou rovnoběžné, ale vždy svírají jistý úhel. Kyv je malý, jen několik stupňů. Při svírání desek se materiál drtí, při otvírání propadne o něco níže a při dalším pohybu desek se opět drtí na menší rozměr. Při dosažení požadovaného rozměru vypadne drcený materiál z drtiče štěrbinou mezi spodními hranami desek. [6]

K drcení litiny se používá obdobný systém drtičů. Ten je složen ze dvou profilovaných desek (čelistí), jedné pevné a druhé posuvné. Posuv desky je zajištěn hydraulickým systémem s pístem. Poloha desek je horizontální a drť se samovolně nedostane ze stroje do kontejneru na zpracovaný materiál. [6]

Dále se litinový odpad zpracovává metodou roztloukání řadou úderů ocelovým beranem na tzv. tlučkách.[14]

Rozbíjení je efektivní jen u velkých, těžkých a křehkých odlitků, využívá se převážně na šrotištích u velkých hutí, k drobení kokil, zmetkových odlitků, vyřazených válců válcovacích stolic, licích pánví a desek. V našich podmínkách je tlučka ojedinělou a spíše historickou záležitostí. Postupem času byly nahrazeny novějšími stroji, které jsou výhodnější a podstatně produktivnější. [14]

Tlučka se skládá ze dvou základních částí. První je náraziště, které slouží jako podložka pod rozbíjený šrot. Často je zhotovena z nízkouhlíkových ocelí vyžíhaných při teplotě $900^{\circ}\text{C} \div 950^{\circ}\text{C}$. Aby se tato deska nebořila při nárazech do země, je pod ní zhotoven základ z písku, šterku, ocelových bloků, železobetonu či dřevěných trámů z tvrdého dřeva. Druhou částí je beranidlo, které může mít rozmanitý tvar, velikost a hmotnost. Nejběžnějším materiálem této značně namáhané součásti jsou levné uhlíkové oceli, což snižuje životnost a zvyšuje náklady na provoz takového zařízení. [14]

U tohoto typu stroje se jen velice těžce stanovuje výkonnost, záleží totiž na tvaru, velikosti a materiálu roztloukaného šrotu. Přibližná hodinová výkonnost při mezních rozměrech litinového šrotu 300 x 300 x 300 mm je 4,2 t/hod. [14]

2.1. Firma ATM Recyclingsystems GmbH

Drtiče litiny ArnoBreak rakouské firmy ATM Recyclingsystems GmbH mohou být dodávány ve dvou různých velikostech pro efektivní zpracování převodových skříní, bloků motorů a ostatního litinového šrotu. ArnoBreak C 400 se používá hlavně pro lehký šrot, zatímco ArnoBreak C 600 pro rozměrnější kusy litinového šrotu. [2]

Smykový pohyb zoubkovanou deskou ramene vytváří vysoký drtící výkon k úpravě jednotlivých kusů šrotu na velikost optimální pro tavení. Na rozdíl od řezání, proces drcení funguje bez opotřebení řezacích nástrojů. [2]

Dosažení pravidelné velikosti zpracovaného šrotu je velice důležité pro podávací a tavící zařízení. Drtiče litiny toto kritérium spolehlivě splní. [2]

Vzhledem ke konkrétní aplikaci, jsou drtiče litiny používány především ve slévárnách nebo velkých vrakovistiších. Používají se převážně pro zpracování částí z křehké litiny, jako jsou převodové skříně, bloky motorů, formy, litinové potrubí atd. [2]

Stroje je možno pořídit s volitelným příslušenstvím: dálkovým ovládáním, klimatizovanou kabinou, nakládací plošinou, pohonnými jednotkami a dopravníky. [2]



Obr. 1 - ATM ArnoBreak C 600 [2]

Parametr	Jednotka	ArnoBreak 400	ArnoBreak 600
Drtící síla min.	kN	1200	2000
Drtící síla max.	kN	4000	6000
Max. délka kusu	mm	2000	3000
Max. délka přečínání kusu	mm	<300	<300
Kapacita	t/hod	10	16
Perioda opakování	s	60	60
Standardní hnací výkon	kW	22	44
Zvýšený hnací výkon	kW	30	60
Zástavbové rozměry	m	5,3 x 2,5	7,1 x 3,3

Tabulka 1 - Technická data drtiče ATM ArnoBreak C 400/600 [2]

ArnoBreak R železniční drtič byl vyvinut k efektivnímu zpracování železničních kolejnic a je možné ho pořídit ve dvou variantách. Stacionární provedení umožňuje zpracování kolejnic až do 120 m délky. Zásobník se používá pro podávání kolejnic do drtiče. [2]

K dispozici je mobilní verze k přímému použití na dráze, která je vybavena naftovou pohonnou jednotkou a nakládací plošinou. Může efektivně rozbít kolejnice kolem 24 m délky na kratší díly o velikosti 300 až 1000 mm. Speciální vrubování zajišťuje, že kolejnice jsou lámány s minimálním opotřebením nástrojů. Mobilní železniční drtič, který je umístěn na přívěsu, lze přesunout na jiné místo velmi rychle. [2]

Kolejnice jsou hned po rozřezání naloženy (mobilní ArnoBreak) a není třeba zvláštní dopravy. Stacionární železniční drtiče zase nabízí podávací zásobník, což snižuje náklady na zaměstnance. Železniční kolejnice představují vysoký podíl šrotu pro slévárny. [2]

Stroje je možno dodat s volitelným příslušenstvím: dálkovým ovládáním, klimatizovanou kabinou, nakládací plošinou, pohonnou jednotkou a zásobníkem (pro stacionární železniční drtiče). Mobilní drtiče lze dodat rovněž s dálkovým ovládáním; nakládací plošina a napájecí jednotka je již namontována na přívěsu. [2]



Obr. 2 - ATM ArnoBreak R stacionární provedení [2]



Obr. 3 - ATM ArnoBreak R mobilní provedení [2]

Parametr	Jednotka	ArnoBreak 125 S	ArnoBreak 125 M
Drtící síla	kN	1250	1250
Vrubovací síla	kN	1250	1250
Max. délka kusu	mm	1000	1000
Min. délka kusu	mm	300	300
Kapacita	t/hod	<10	<9
Perioda opakování	s	>7	>7
Standardní hnací výkon	kW	22	22
Zvýšený hnací výkon	kW	30	30
Zástavbové rozměry	m	2,5 x 15	2,5 x 15

Tabulka 2 - Technická data drtiče ATM ArnoBreak 125 S/M [2]

2.2. Firma S.A. COPEX

Francouzská společnost nabízí stroj pro zpracování železného šrotu včetně litiny LIDEX Range. Jedná se o poslední novinku vývojového a konstrukčního oddělení firmy COPEX. Nové LIDEX šrotovací nůžky s boční kompresí jsou prvním strojem ve své kategorii, který nabízí kompletně automatický cyklus. Tento cyklus zahrnuje shazování šrotu z před-nakládacího stolu do kompresní komory, zavírání komory, před-drcení nákladu a kompletní řezací cyklus. LIDEX Range je k dispozici ve více variantách, lišících se řeznou silou. Tento stroj dosahuje vynikajícího řezného výkonu až 7 řezů za minutu, a provozní kapacity od 41 t / h (LIDEX 800t) do 110 t / h (LIDEX 1700t). Nadměrné víko a originální kinematický design před-nakládacího stolu přispívají k výraznému snížení pracovních cyklů pro přípravu šrotu. Tento systém umožňuje zvýšení produktivity až o 25 %. [3]



Obr. 4 - COPEX LIDEX Range [3]

Parametr	Jednotka	LINDEX Range
Střížná síla	t	800, 1000, 1300, 1700
Délka kompresní komory	m	6, 8, 10
Rezná šířka	mm	600 ÷ 1500
Kapacita	t/hod	41 ÷ 110
Perioda opakování	s	<9
Hnací výkon	kW	3 ÷ 8 x 90

Tabulka 3 - Technická data drtiče COPEX LINDEX Range [3]

Dále tato společnost nabízí drtiče CVM a CVF Range, které byly speciálně navrženy pro lisování a stříhání svařovaných konstrukcí, bílé techniky a tříděného odpadu. Verze CVM je na rozdíl od CVF umístěna na návěsu. Tato zařízení jsou ideální pro rychlé a efektivní zpracování šrotu na prakticky kterémkoliv místě. Stroje se vyznačují výkonným motorem a čerpadly nejnovější generace, což vede ke snížení provozních nákladů. Z těchto důvodů je zejména Copex CVM jedním z nejučinnějších mobilních systémů na trhu. [4]



Obr. 5 - COPEX CVM mobilní provedení [4]



Obr. 6 - COPEX CVF stacionární provedení [4]

Parametr	Jednotka	LINDEX Range
Střížná síla	t	500 ÷ 630
Délka kompresní komory	m	5; 5,6; 7
Řezná šířka	mm	800
Kapacita	t/hod	8 ÷ 15
Hnací výkon	kW	313

Tabulka 4 - Technická data drtiče COPEX CVM/CVF Range [4]

2.3. Firma HAMMEL Recyclingtechnik GmbH

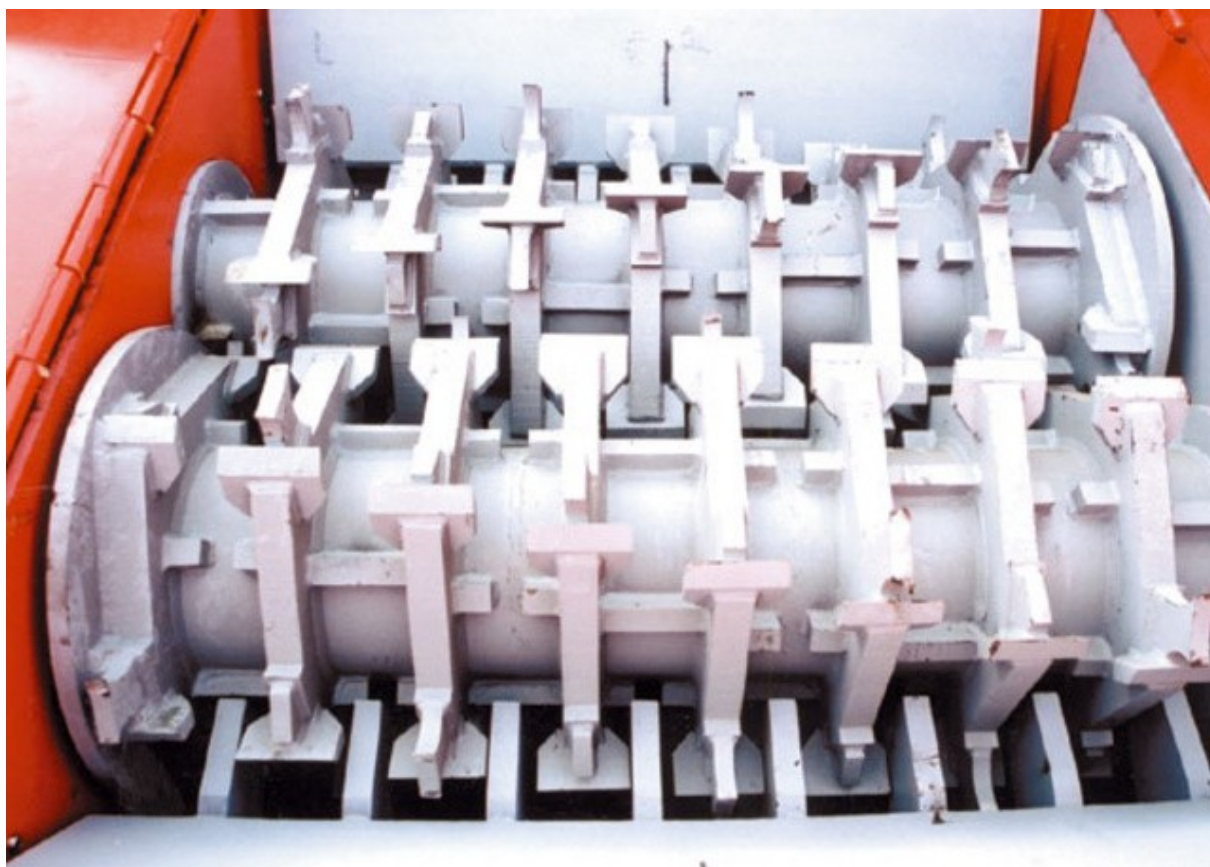
Již více jak 20 let je německá společnost HAMMEL Recyclingtechnik GmbH synonymem kvalitních strojů pro zpracování nejrůznějších odpadů. Společnost sídlí v městečku Bad Salzungen, kde má k dispozici rozlehlý výrobně-technický areál. Mottem společnosti HAMMEL je dodat každému zákazníkovi produkt, který dlouhodobě splní jeho očekávání a se kterým bude spokojen. [11]

HAMMEL vyrábí tři základní skupiny strojů (předdrcovače, dodrcovače a separátory) a jejich kombinací pak vznikají unikátní stroje (KOMP BIO) či špičkové technologické linky pro zpracování širokého spektra odpadů. [11]

Drtiče společnosti HAMMEL jsou dodávány v návěsovém provedení, nebo s pásovým podvozkem. [11]



Obr. 7 - Drtič HAMMEL VB-950 RED GIANT [11]



Obr. 8 - Hřídele s drtícími lopatkami drtiče HAMMEL VB-950 [11]

Typ	jednotka	VB 450 D	VB 650 D	VB 750 D	VB 850 D	VB 950 D
Pohon	kW	103	147	257	386	522
Otáčky nástrojů	ot/min	15 - 33	15 - 33	18 - 40	18 - 39	12 - 32
Objem mezinásypky	m ³	3,5	7	7	9	11
Výška	mm	2200	2700	2700	3000	3200
Hmotnost	kg	11.000	19.000	21.000	34.000	44.000
Šířka pásu	mm	800	1.000	1.400	1.400	1.400
Výsypná výška	mm	2.700	3.400	3.400	3.600	do 5.000
Výkonnost (kov. šrot)	t/hod	-	-	-	-	40 - 60

Tabulka 5 - Technická data drtičů HAMMEL řady VB [11]

2.4. Firma Bonfiglioli S.p.A

Italská firma Bonfiglioli S.p.A. vyrábí stroje na zpracování kovového odpadu již 23 let. Za tuto dobu vyrobila více než 400 ks nůžek, 1600 ks lisů a 70 ks mlýnů. Své bohaté zkušenosti zúročuje také ve vývoji nových strojů. Nůžky Squalo 1000T s horizontálním stříhem jsou vhodné pro zpracování kovového odpadu včetně litiny. [10]



Obr. 9 - Nůžky s horizontální stříhem Bonfiglioli Squalo 1000T [10]



Obr. 10 - Bonfiglioli Squalo 1000T - transport [10]

Parametr	Jednotka	Squalo 1000T
Střižná síla	t	1000
Střižná délka	mm	300
Kapacita	t/hod	7 ÷ 11
Hnací výkon	kW	103
Zástavbové rozměry	m	3,9 x 1,4

Tabulka 6 - Technická data drtiče Bonfiglioli Squalo 1000T [10]

3. Varianty řešení

3.1. Požadavky

Při volbě vhodné varianty tvaru a způsobu drcení litiny pro mnou navrhované zařízení jsem se zamýšlel nejen nad způsobem, jakým bude docházet k pohybu drtící čelisti, ale také nad tvarem a umístěním drtících "zubů", a v neposlední řadě také nad způsobem, jakým bude docházet k vyprázdnění lisovací komory po dokončeném procesu drcení.

Návrhu drtícího zařízení by mělo předcházet ujasnění následujících otázek:

- Jaké fyzikální a mechanické vlastnosti bude mít odpad drcený ve stroji?
- Jaký bude maximální rozměr a hmotnost, kterou stroj rozdrtí během jednoho procesu?
- Jaký bude stupeň drcení, čili k jak velkému zdrobnění při drcení dojde?
- Jak vysoká bude energetická náročnost zařízení?
- Jak náročná bude obsluha a údržba?
- Jaké bude prostorové rozmístění a hmotnost zařízení?
- Jaký bude požadovaný hodinový výkon stroje?
- Jaká bude konečná cena zařízení?

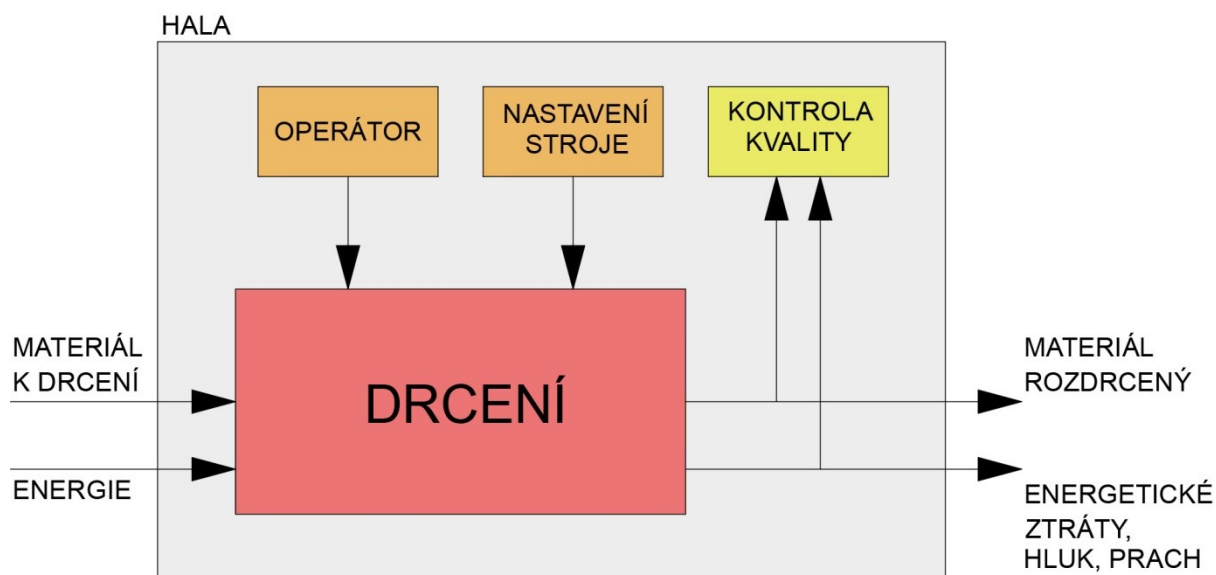
3.2. Technický systém

Pojmem technický systém rozumíme obecně technické objekty, jako jsou stroje, přístroje, silnice, domy atd.. [16] V této práci však budou za technické systémy považovány především stroje a strojní zařízení.

Technický systém je uměle vytvořený systém, jehož cílem je měnit určité vstupní veličiny ve formě materiálu, energie nebo informace na požadované účinky (výstupní veličiny) v prostoru a čase. Tyto přeměny probíhají podle zvoleného pracovního způsobu v účinkových řetězcích. V technických systémech jsou transformační účinky (hlavní účinky) dále doprovázeny nezbytnými účinky pomocnými, pohonnými, regulačními, spojovacími a nosnými. [16]

Mým úkolem je navrhnout zařízení pro drcení litiny. Jde tedy o transformaci vstupního materiálu, který je určen k likvidaci, na rozmělněný materiál. Kromě základního

materiálu vstupuje do procesu také energie a vedlejšími výstupy z procesu jsou např. prach, unikající teplo, hluk (energetické ztráty) atd. Operátory procesu jsou člověk (obsluha) a technické prostředky (ovládací panel). Zpětná vazba je získávána kontrolou kvality rozdrceného materiálu. Model transformačního procesu je na obr. 11.



Obr. 11 - Model transformačního procesu

3.3. Specifikace požadavků

Základním podkladem ke specifikování požadavků je samotné zadání úkolu. Kromě stanovení úkolu pro celý technický systém je však nutno stanovit i úkoly pro jeho dílčí systémy a součásti. Specifikace požadavků by měla být úplná, uspořádaná, jasná a jednoznačná. Požadavky je nutno označit významností a pokud možno je kvantifikovat a udávat tolerance dosahovaných hodnot. Požadavky jsou vypsány v požadavkovém listu v tabulce 7. [16]

SPECIFIKACE POŽADAVKŮ		PODMÍNKY	PŘÁNÍ
Drcení:	- Drcení na požadovaný max. rozměr	X	
Manipulace:	- Transport materiálu do drtiče	X	
	- Transport materiálu z drtiče	X	
	- Počet stlačení v jednom cyklu	X	
	- Zabezpečení proti přetížení	X	
Rozměry:	- Max. rozměr před drcením 2000 mm	X	
	- Max. rozměr po drcení 300 mm	X	
Provoz:	- Prostředí - výrobní hala	X	
	- Údržba - minimální/jednoduchá		X
Výroba:	- Kusová	X	
Ergonomie:	- Jednoduchá manipulace a ovládání	X	
	- Jednoduché sestavení/rozebíratelnost		X
	- Bezpečnost provozu	X	

Tabulka 7 - Požadavkový list

3.4. Funkce technického systému

Dalším krokem je určení funkcí technického systému, vyplývajících ze specifikovaných požadavků:

- otevření víka pro zavážení materiálu
- pohon víka
- drtící cyklus (3 postupná drcení)
- pohon drtící čelisti
- zajištění vyprázdnění drtící komory
- otevření vrat pro vyprázdnění drtící komory
- pohon vrat
- ochrana proti přetížení
- ukotvení stroje
- manipulace se strojem

3.5. Orgánová struktura

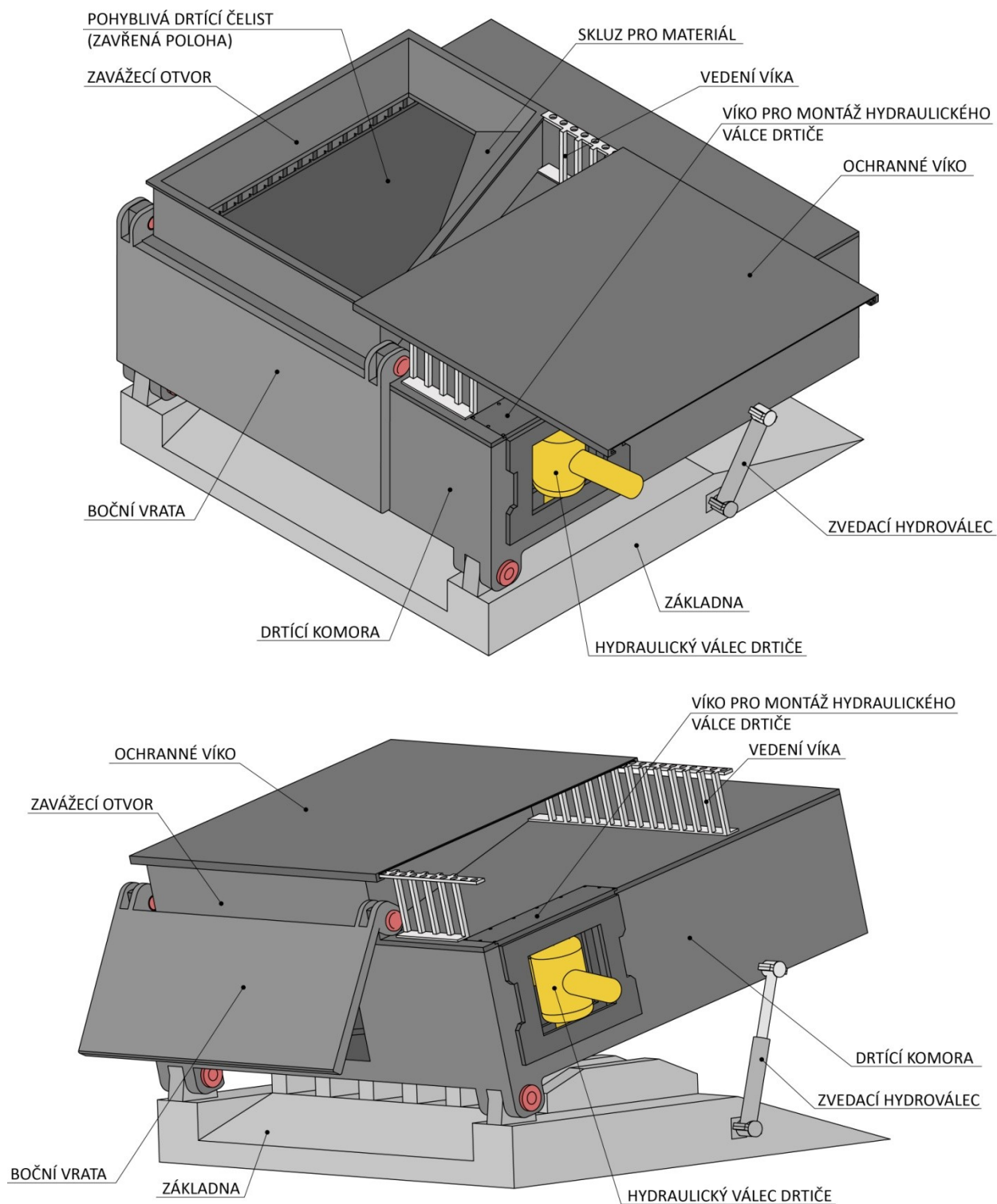
Při hledání orgánové struktury se nejprve zjišťuje, které přírodní zákonitosti mohou způsobit požadované účinky. Účinek vzniká na základě fyzikálního efektu stanovením činných ploch, jejich chování a druhů materiálů. Spojováním a kombinováním jednotlivých účinkových řetězců dílčích funkcí vzniká návrh celkové orgánové struktury hledaného technického systému. Výstupem je tzv. morfologická matice, což je tabulka, v níž jsou uvedeny funkce technického systému a možnosti jejich zajištění pomocí funkčních jednotek (orgánů). [16]

FUNKCE	ORGÁNY - NOSITELÉ FUNKCÍ			
	1	2	3	4
Otevření víka pro zavážení materiálu	Posuvem	Vyklopením	Vytočením	
Pohon víka	Hydraulický válec	Pneumatický válec	Elektromotor	
Drťící cyklus	1 drcení	2 drcení	3 drcení	
Pohon drťící čelisti	Hydraulický válec	Pneumatický válec	Elektromotor	Spalovací motor
Zajištění vyprázdnění drťící komory	Naklopení celého stroje	Sklopení podlahy	Naklopení podlahy	
Pohon zvedacího mechanismu	Hydraulický válec (2 ks)	Hydraulický válec (1 ks)	Pneumatický válec (2 ks)	Elektromotor (1 ks s průběžnou hřídelí)
Otevření vrat pro vyprázdnění drťící komory	Hydraulický válec	Vyklopením	Vytočením	
Pohon vrat	Hydraulický válec	Pneumatický válec	Elektromotor	Tíhovou silou
Ochrana proti přetížení	Pojistná spojka	Snímač napětí		
Ukotvení stroje	Přišroubovat k podlaze	Betonový základ		
Manipulace se strojem	Kotevní oka pro jeřáb	Manipulační kolečka		

Tabulka 8 - Morfologická matice

3.6. Stavební struktura drtiče litiny

Stavební struktura navrhovaného drtícího zařízení pro drcení litiny (obr. 12).

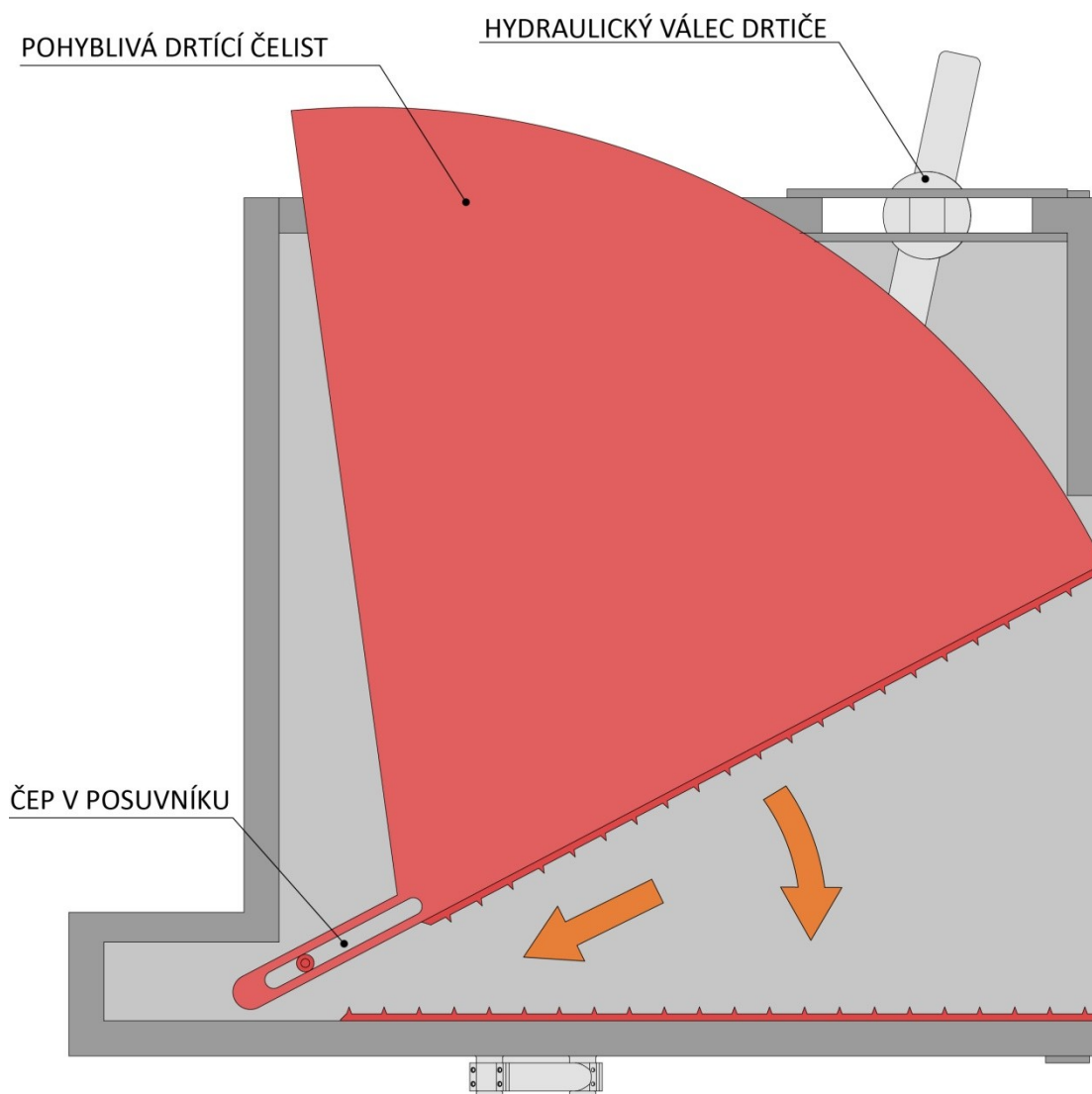


Obr. 12 - Stavební struktura drtiče litiny

3.7. Způsob pohybu drtící čelisti

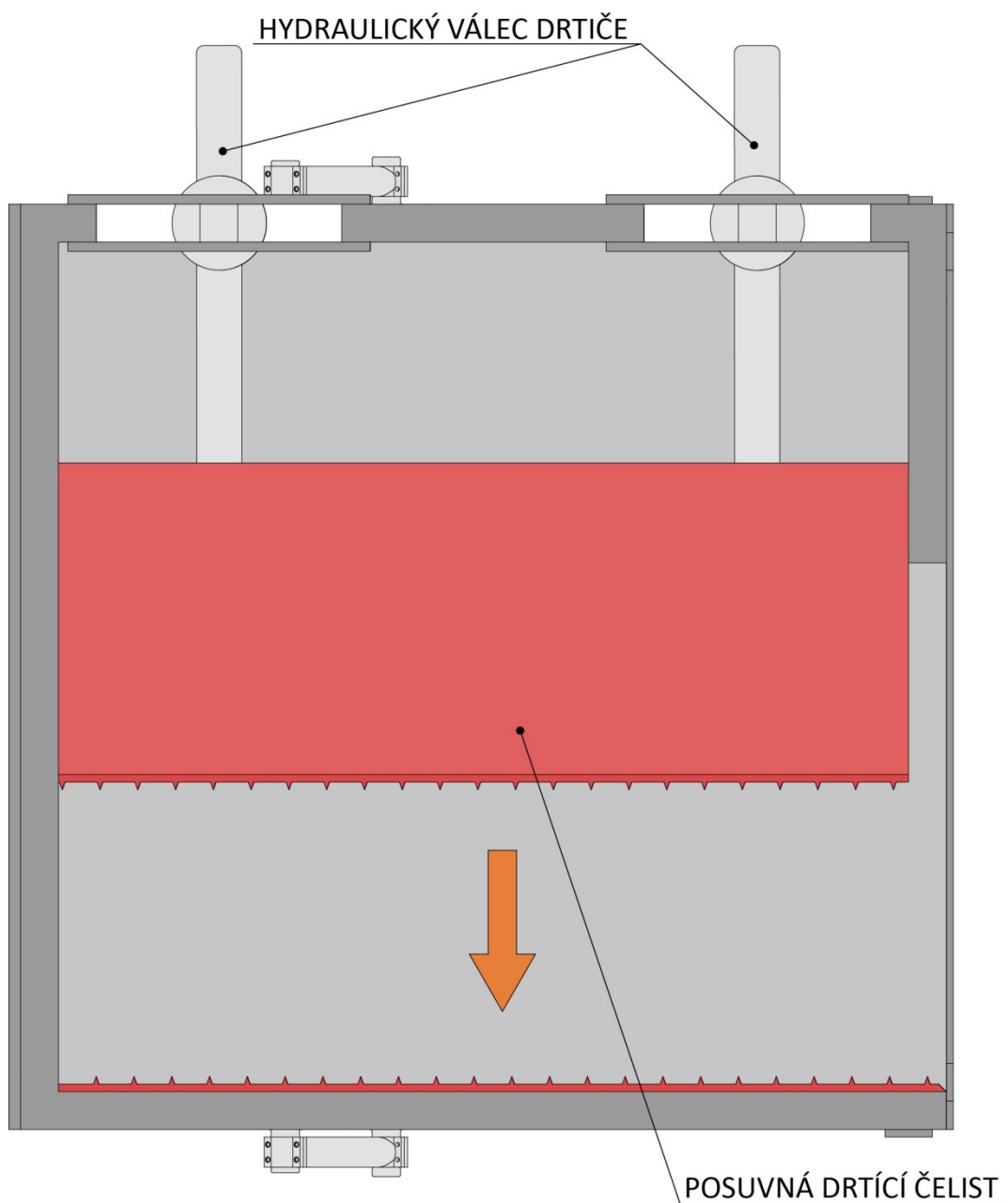
Na schématech níže jsou zobrazeny mnou navrhované varianty technického řešení pohybu drtícího ramene (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 2) v drtící komoře (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 1). Jde o primární pohyb drtícího stroje a proto je třeba jej volit co neúčinnější.

V první variantě (obr. 13) se jedná o složitý pohyb, při kterém by docházelo k velkému opotřebení kolíku a drážky. Tento systém by byl citlivý na nečistoty a navíc nedovoluje, aby měl stroj tvar půdorysu pravidelného čtyřstěnu. Výhodou tohoto pohybu je širší rozevření drtících čelistí při zachování vnějších rozměrů stroje.



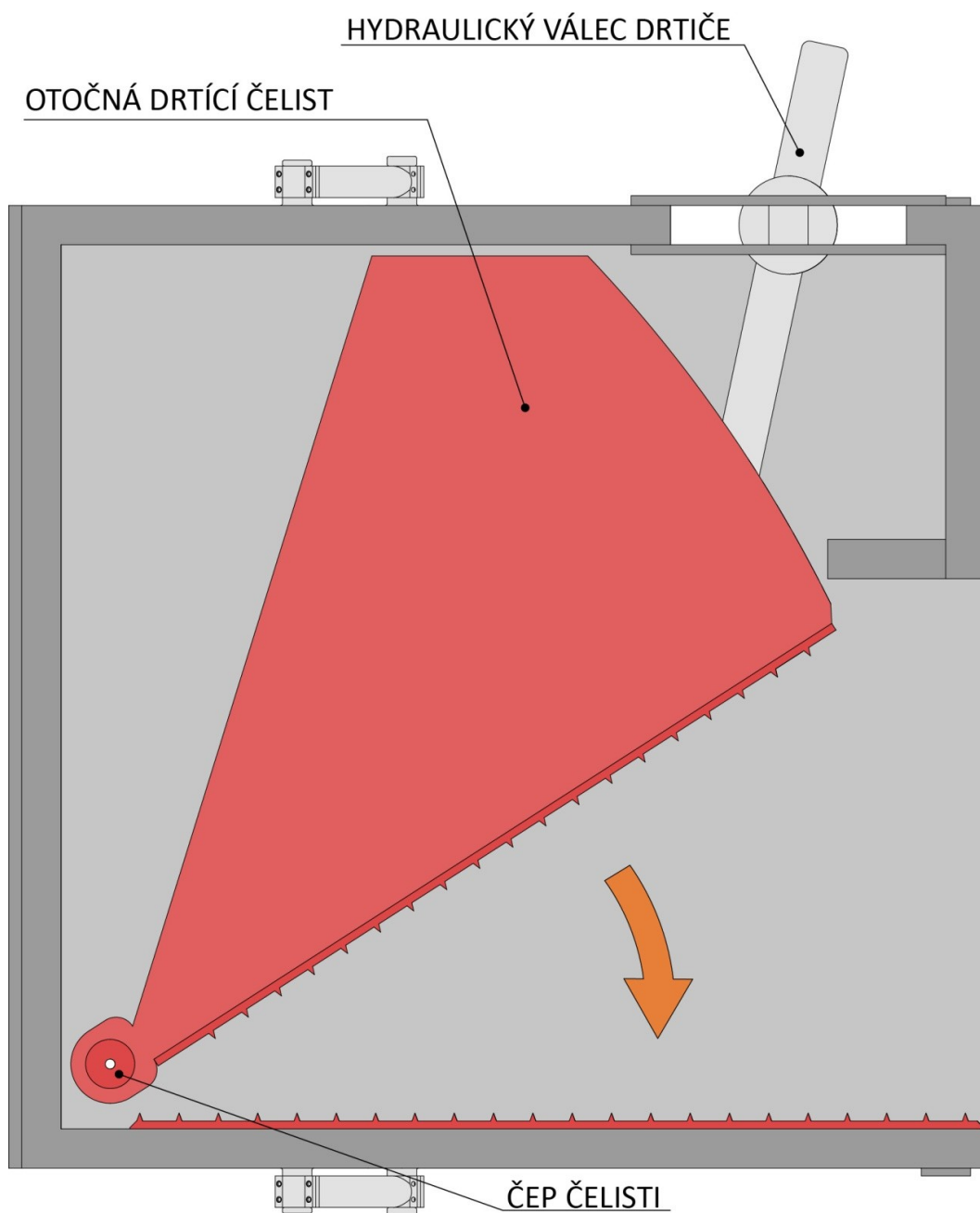
Obr. 13 - Smíšený pohyb pohyblivé drtící čelisti skládající se z posuvu rotace

Ve druhé variantě (obr. 14) je pohyb přímočarý, což by bylo ideální a jednoduché řešení. Podstatnou nevýhodou je použití dvou hydraulických pístů, aby nedocházelo k ohybu pohyblivé drtící čelisti a následným deformacím. To by značně zkomplikovalo konstrukci a navýšilo cenu takového zařízení.



Obr. 14 - Přímocharý pohyb pohyblivé drtící čelisti

Proto jsem se rozhodl pro třetí variantu (obr. 15), ve které dochází k drcení pomocí rotačního pohybu pohyblivé čelisti. V návrhu jsem tento systém doplnil o vodící drážku, aby nedocházelo k pnutí hydraulického válce. Ten je při působení maximální síly umístěn kolmo na pohyblivou drtící čelist, opět z důvodu zamezení deformací a zvýšení tuhosti zařízení.



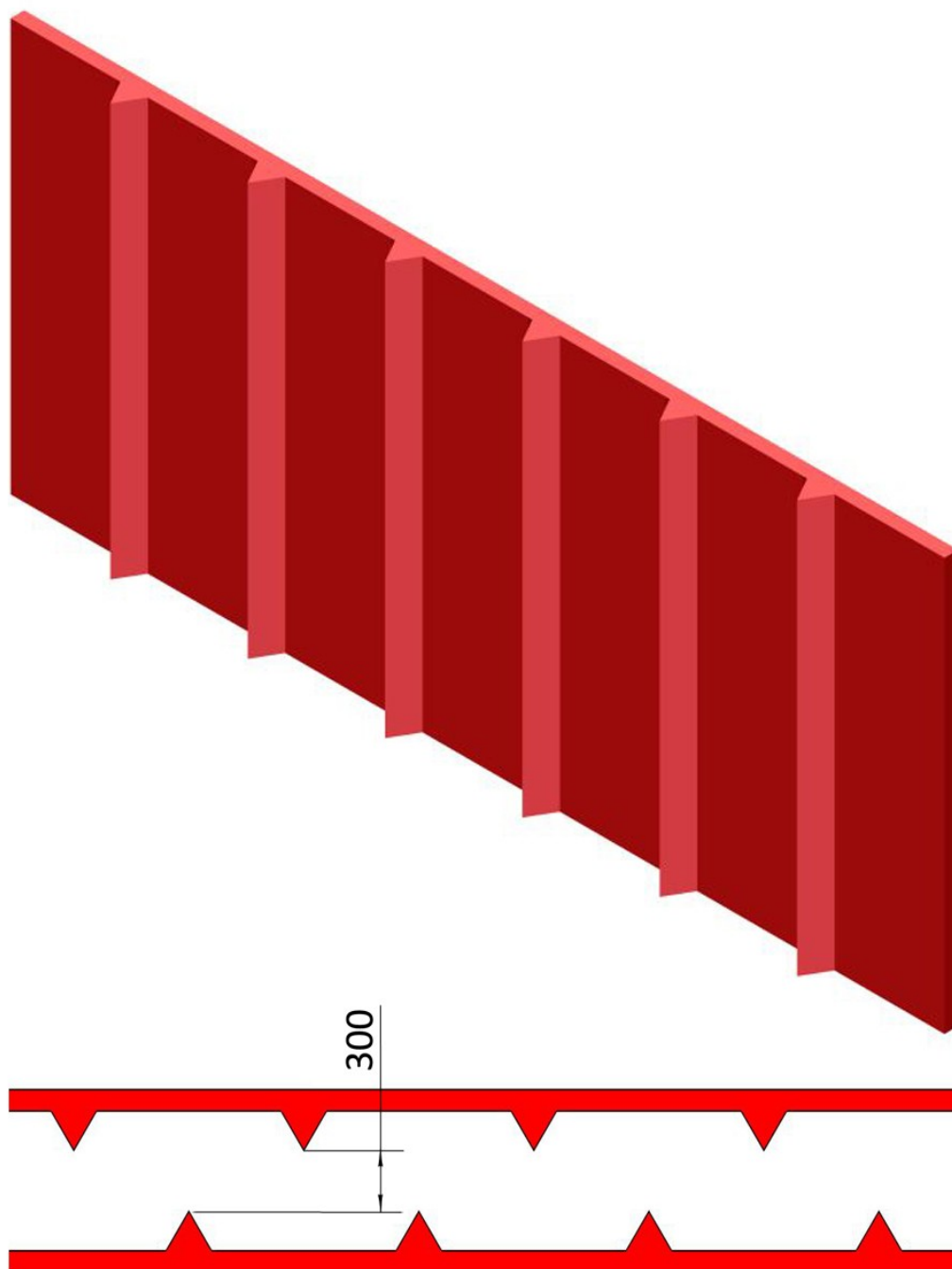
Obr. 15 - Rotační pohyb pohyblivé drtící čelisti

3.8. Řešení tvaru zubů styčných ploch

Na schématech níže jsou zobrazeny navrhované varianty technického řešení styčných ploch (VD č. VSB/HRA0006/005 Poz.: 3) pohyblivé čelisti a drtící komory s drceným materiálem. Vhodným materiálem pro tuto extrémně namáhanou část stroje bude HARDOX 550. Tato otěruvzdorná ocel se vyznačuje vysokou houževnatostí a pevností. Celá plocha bude dělena na jednotlivé segmenty z důvodu snadné výměny při opotřebování zubů.

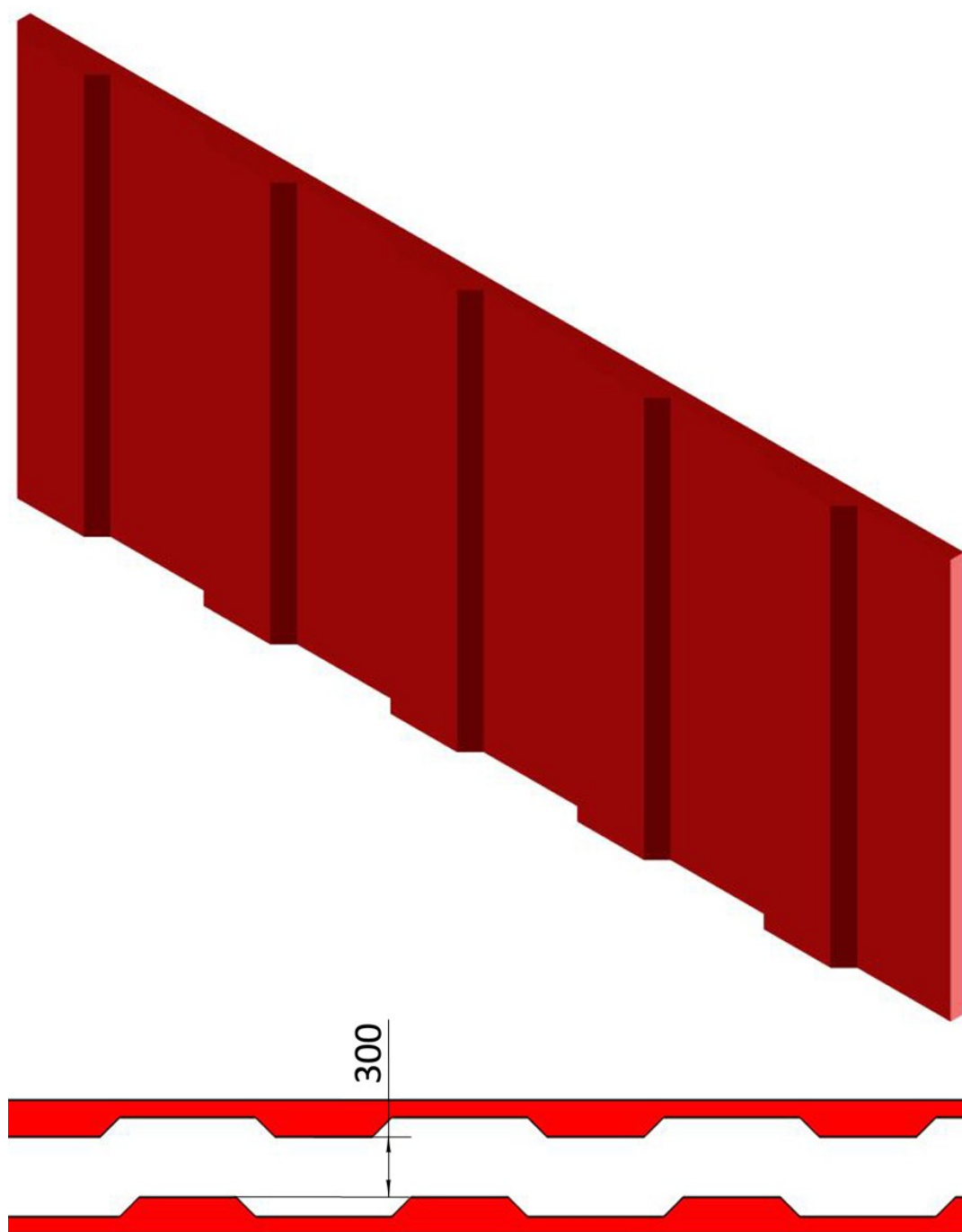
Otěruvzdorný materiál HARDOX 550 se existuje v tloušťkách od 10 do 50 milimetrů a garantuje tvrdost 550 HB \pm 25 HB. Této tvrdosti odpovídá pevnost v tahu R_m 1700 MPa a mez kluzu R_p 1400 MPa. Nejpozoruhodnější vlastností tohoto materiálu je však jeho houževnatost. Ta obvykle souběžně s narůstající tvrdostí klesá, avšak u tohoto materiálu je její úroveň KV 30J. To je vyšší hodnota než většina kalených ocelí o tvrdosti 400 HB. Další výhodou je, že ji lze kromě ohýbání technologicky zpracovávat stejně jako všechny běžné otěruvzdorné materiály. Dá se tedy termálně dělit, svařovat, vrtat, zahlubovat i obrábět. Pro potřeby mého návrhu je důležité především snadné vrtání a svařitelnost. [B]

Pro drcení se mi jeví jako nejvhodnější řešení s ostrými zuby (obr. 16). Zuby tzv. naseknou drcený materiál pro jeho snadnější rozdrčení. Nejmenší vzdálenost mezi hroty zubů vychází ze zadaného maximálního výstupního rozměru kusu rozdrčené litiny a je roven 300 mm. Zuby na obou čelistech neleží proti sobě, ale jsou vyoseny, aby napomáhaly lámání materiálu.



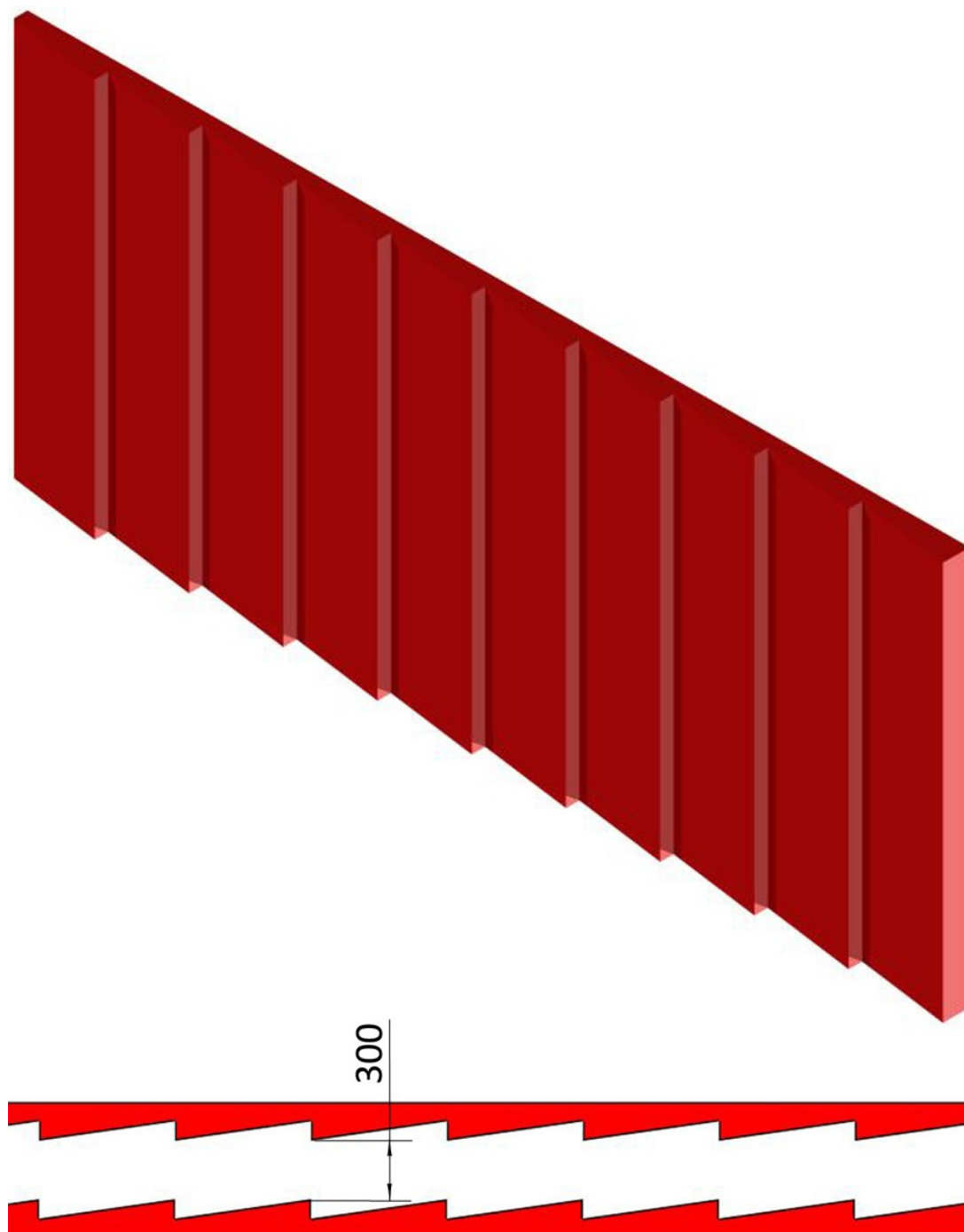
Obr. 16 - Tvar drtících ploch s ostrými zuby

U řešení s plochými zuby (obr. 17) je hlavní nevýhodou, že nepomohou při drcení s naseknutím materiálu. Tyto zuby jsou však méně náchylné opotřebení. Důvodem je větší styčná plocha s drceným materiálem.



Obr. 17 - Tvar drtících ploch s plochými zuby

Poslední řešení (obr. 18) se šikmými zuby kombinuje větší styčnou plochu s drceným materiálem, tím pádem větší životnost, a ostrou hranu, která napomůže v počátečních fázích drcení k tzv. naseknutí. Nevýhodou je, že ostré hrany na obou čelistech jsou v jedné ose a také to, že by se mohl rozdrcený materiál při vysypávání o zub zachytit a nedošlo by k úplnému vyprázdnění lisovací komory.

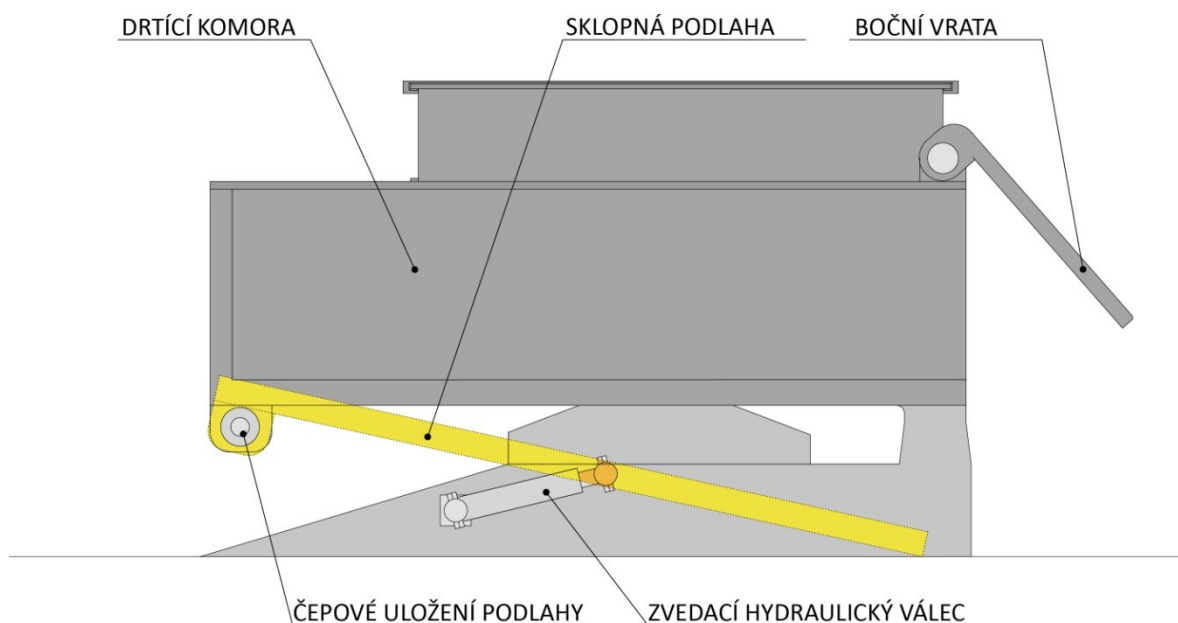


Obr. 18 - Tvar drtících ploch se šikmými zuby

3.9. Řešení vyprázdnění drtící komory

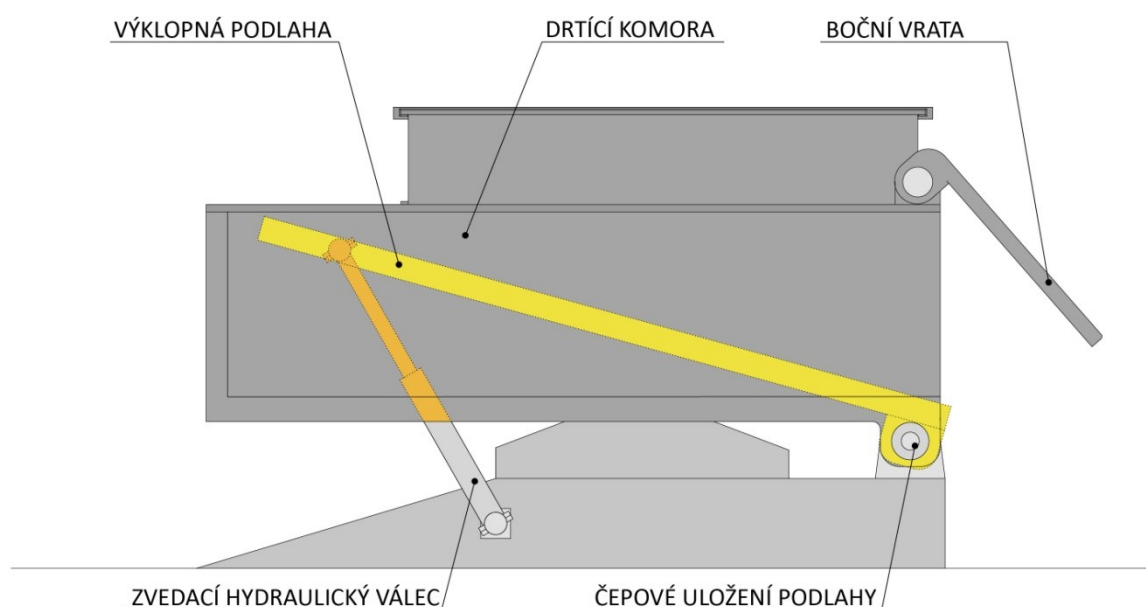
Na schématech níže jsou zobrazeny navrhované varianty technického řešení pro vyprázdnění materiálu pomocí kluzu z drtící komory. Dno komory musí být z vysoce odolného materiálu, neboť při zavážení by mohlo dojít k protržení dna ostrým a těžkým kusem litiny. Vhodným materiálem pro tuto vysoce namáhanou část stroje je opět HARDOX 550.

První varianta (obr. 19) se vyznačuje jednoduchostí. Zvedací hydraulický válec sklopí pouze dno drtící komory a zbytek stroje je pevně spojen se základnou. Nevýhodou této varianty je vysoké namáhání hydraulických válců, které při drcení drží ve vodorovné poloze dno a zavezenou litinu. Tento problém by se dal vyřešit použitím jistících mechanismů, např. táhel, které by zajistily dno ve vodorovné poloze. Boční vrata by v takovém případě potřebovala vlastní pohon pro otevření. To vše by však zkomplikovalo konstrukci stroje.



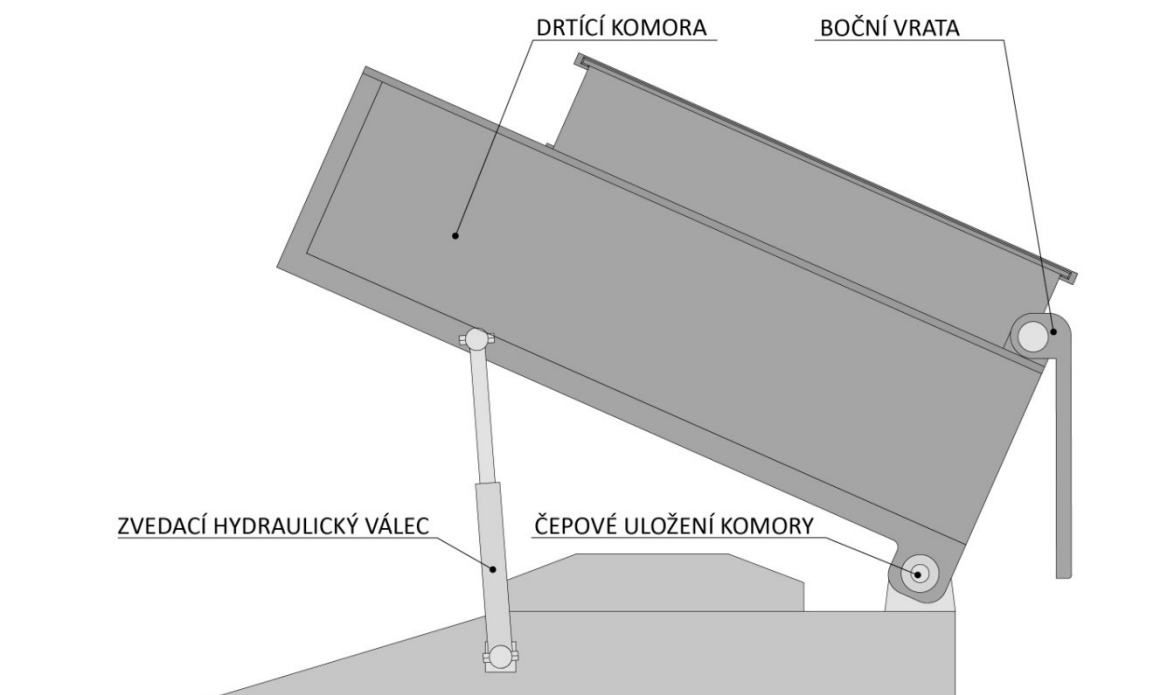
Obr. 19 - První varianta vyprázdnění drtící komory sklápěním dna

Ve druhé variantě (obr. 20) se zvedá dno drtící komory pomocí hydraulických válců. Zbytek stroje je pevně spojen se základnou. Velkou nevýhodou této varianty je problém s pohyblivou drtící čelistí. Ta se sice vrátí do výchozí polohy, ale zabírá velkou část plochy dna. Logicky tuto část není možné zvedat, čímž by docházelo ke zvednutí pouze poloviny dna drtící komory. Celá konstrukce by tím ztratila tuhost a musela by se vhodně vyztužit. Opět by bylo potřeba vyřešit zajištění dna při drcení, např. pomocí táhel, které by zajistily dno ve vodorovné poloze. Boční vrata by i v tomto případě potřebovala vlastní pohon pro otevření. Tato varianta se mi jeví jako nejnáročnější a nejméně vhodná.



Obr. 20 - Druhá varianta vyprázdnění drtící komory zvedáním dna

Poslední variantou (obr. 21) je zvedání celé drtící komory pomocí hydraulických válců. Drtící komora je se základnou spojena pomocí dvou čepů. Při drcení stojí komora pevně na základně. Tento způsob zajistí vysokou tuhost celé konstrukce. Drobnou nevýhodou je vyšší zvedaná hmotnost a s tím související použití výkonnějších hydraulických válců. Boční vrata se při tomto způsobu vyprázdnění otevrou působením tíhové síly, čímž odpadá potřeba řešení jiného pohonu vrat. Tato varianta konstrukce se mi jeví jako nejvhodnější pro splnění požadovaného zadání.

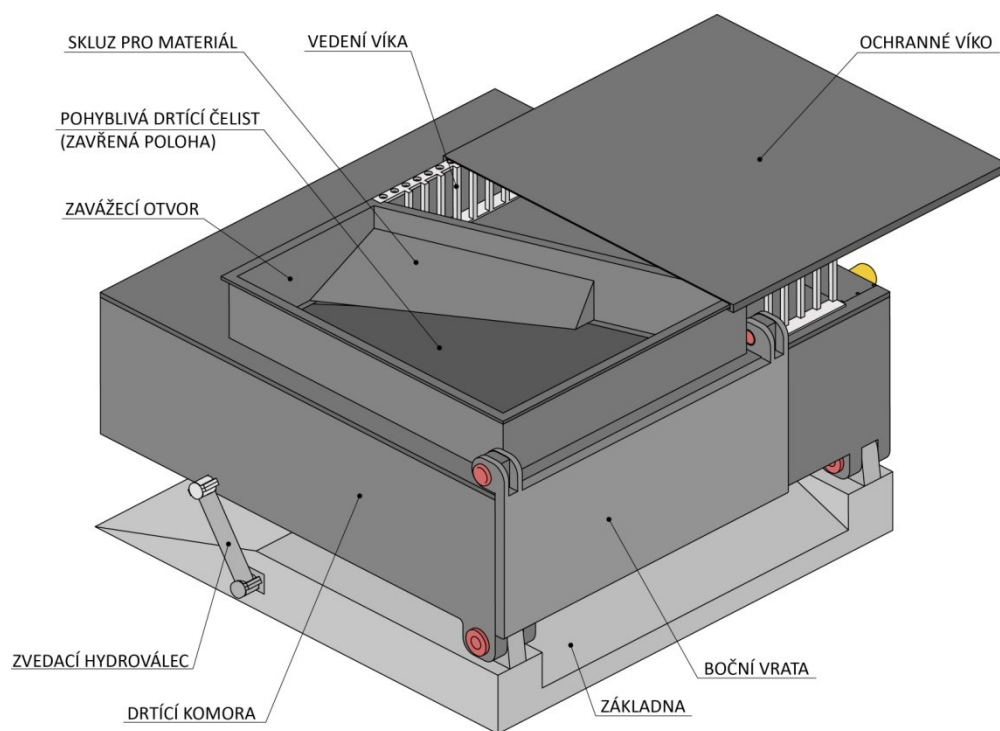


Obr. 21 -Třetí varianta vyprázdnění drtící komory zvedáním celého stroje

4. Technický popis zařízení

Předlohou pro mnou navrhovaný drtič litiny byl stroj ArnoBreak C rakouské firmy ATM Recyclingsystems. Tento stroj ideálně odpovídá požadavkům plynoucím ze zadání mé diplomové práce.

Navrhovaný drtič litiny (obr. 22) primárně slouží k drcení litiny, není tedy konkrétně uzpůsoben pro zpracování jiného druhu odpadu. K samotnému procesu drcení dochází stlačením dvou drtících ramen, jedním pevným a druhým otočným (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 2). Na ramenech jsou použity speciální otěruvzdorné desky se zuby (VD č. VSB/HRA0006/005 Poz.: 3), které usnadňují proces drcení. Tyto desky se zuby jsou členěny na segmenty pro snadnou výměnu v případě defektu. Materiál desek je speciální otěruvzdorná ocel HARDOX 550. K vyvinutí potřebné drtící síly je použit hydraulický systém s jedním pístem (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 3). Dále je pomocí hydraulických válců (VD č. VSB/HRA0006/012 Poz.: 3) vyřešeno vyklápění drtící komory k jejímu vyprázdnění. Boční vrata (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 4) chránící pracovní prostor nejsou mechanicky ovládané, k jejich otevření dochází vlivem gravitační síly, která vrata otevře po vyklopení stroje na stranu. Horní víko (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 2) zavážecího otvoru, slouží jako bezpečnostní prvek proti "vystřelování" drcených kusů litiny ven ze stroje během činnosti. Posuv víka je zajištěn elektromotorem (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 14) pomocí ozubení (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 18). Pro konstrukci stroje jsem volil převážně normované profily a jako základní materiál těchto dílů ocel třídy 14140.7. Jedná se o ocel vysoké kvality, která je pro tento stroj vhodná. Celý stroj je postaven na základně (VD č. VSB/HRA0006/012 Poz.: 1). Z důvodu jednoduché montáže, jsem pro její stavbu použil normované nosníky profilu I. Drtící komora je k základně na jedné straně připevněna pomocí čepů (VD č. VSB/HRA0006/012 Poz.: 5) a na druhé straně pomocí dvou hydraulických válců. Ty mají za úkol naklonit celý drtící stroj, aby došlo k vysypání zpracovaného materiálu.



Obr. 22 - Schéma posuvu hydraulického pístu

5. Výpočtová část

5.1. Výpočet hydraulického válce drtícího ramene

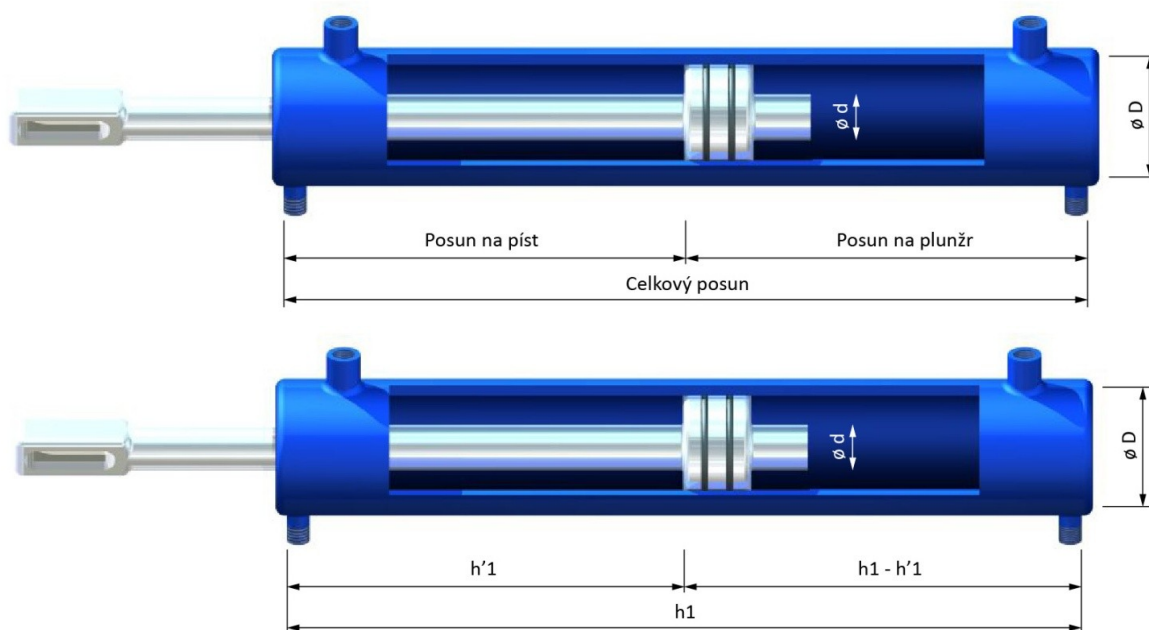
5.1.1. Zadané a zvolené parametry

Pořadí	Veličina	Zkratka	Hodnota	Jednotka
1.	Min. drtící síla	F_{\min}	1200000,000	[N]
2.	Max. drtící síla	F_{\max}	6000000,000	[N]
3.	Pracovní tlak	p	32000000,000	[Pa]
4.	Rychlost pístnice	v_1	0,200	[m.s ⁻¹]
5.	Celkový posuv	h_1	2,000	[m]
6.	Posuv na píst	h'_1	1,000	[m]

Tabulka 9 - Zadané parametry hydraulického pístu drtiče litiny

Veškeré níže vypočtené hodnoty jsou zaokrouhleny na tři desetinná místa, avšak pro navazující výpočty jsou brány hodnoty přesné na šestnáct desetinných míst. Tato přesnost je dána tabulkovým procesorem Microsoft Office Excell 2007, v němž jsem výpočty provedl.

Průměr pláště, pístu a pístnice (VD č. VSB/HRA0006/006) a také délky posuvu jsou znázorněny na obr. 23.



Obr. 23 - Schéma posuvu hydraulického pístu

5.1.2. Min. průměr $D_{1 \min}$ pístu drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } p = \frac{F_{\min}}{S} = \frac{F_{\min}}{\frac{\pi \cdot D_{1 \min}^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{\min}}{\pi \cdot D_{1 \min}^2}$$

$$\text{vyjádřím: } D_{1 \min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\min}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1200000}{\pi \cdot 32000000}} = 0,219 \text{ m}$$

5.1.3. Max. průměr $D_{1 \max}$ pístu drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } p = \frac{F_{\max}}{S} = \frac{F_{\max}}{\frac{\pi \cdot D_{1 \max}^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{\max}}{\pi \cdot D_{1 \max}^2}$$

$$\text{vyjádřím: } D_{1 \max} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\max}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6000000}{\pi \cdot 32000000}} = 0,489 \text{ m}$$

5.1.4. Min. plocha $S_{1D \min}$ průřezu pístu drtiče litiny

$$S_{1D \min} = \frac{\pi \cdot D_{1 \min}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,219^2}{4} = 0,038 \text{ m}^2$$

5.1.5. Max. plocha $S_{1D \max}$ průřezu pístu drtiče litiny

$$S_{1D \max} = \frac{\pi \cdot D_{1 \max}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,489^2}{4} = 0,188 \text{ m}^2$$

5.1.6. Min. plocha $S_{1d \min}$ průřezu pístnice drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } \frac{S_{1D \min}}{S_{1d \min}} = \frac{2}{1}$$

$$\text{vyjádřím: } S_{1d \min} = \frac{S_{1D \min}}{2} = \frac{0,038}{2} = 0,019 \text{ m}^2$$

5.1.7. Max. plocha $S_{1d \max}$ průřezu pístnice drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } \frac{S_{1D \max}}{S_{1d \max}} = \frac{2}{1}$$

$$\text{vyjádřím: } S_{1d \max} = \frac{S_{1D \max}}{2} = \frac{0,188}{2} = 0,094 \text{ m}^2$$

5.1.8. Min. průměr $d_{1 \min}$ pístonice drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } S_{1d \min} = \frac{\pi \cdot d_{1 \min}^2}{4}$$

vyjádřím:

$$d_{1 \min} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{1d \min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,019}{\pi}} = 0,155 \text{ m}$$

5.1.9. Max. průměr $d_{1 \max}$ pístonice drtiče litiny

$$\text{Ze vztahu: } S_{1d \max} = \frac{\pi \cdot d_{1 \max}^2}{4}$$

$$\text{vyjádřím: } d_{1 \max} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{1d \max}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,094}{\pi}} = 0,346 \text{ m}$$

5.1.10. Min. plocha $S_{1D-d \min}$ průřezu pístu bez pístonice drtiče litiny

$$S_{1D-d \min} = \frac{\pi \cdot (D_{1 \min}^2 - d_{1 \min}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,219^2 - 0,155^2)}{4} = 0,019 \text{ m}^2$$

5.1.11. Max. plocha $S_{1D-d \max}$ průřezu pístu bez pístonice drtiče litiny

$$S_{1D-d \max} = \frac{\pi \cdot (D_{1 \max}^2 - d_{1 \max}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,489^2 - 0,346^2)}{4} = 0,094 \text{ m}^2$$

5.1.12. Min. průtok $Q_{1A \min}$ na přívodu u pístu drtícího ramene

$$Q_{1A \min} = S_{1D \min} \cdot v_1 = 0,038 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.1.13. Max. průtok $Q_{1A \max}$ na přívodu u pístu drtícího ramene

$$Q_{1A \max} = S_{1D \max} \cdot v_1 = 0,188 \cdot 0,2 = 0,038 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.1.14. Min. průtok $Q_{1B \min}$ na vývodu u pístu drtícího ramene

$$Q_{1B \min} = S_{1D-d \min} \cdot v_1 = 0,019 \cdot 0,2 = 0,004 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.1.15. Max. průtok $Q_{1B \max}$ na vývodu u pístu drtícího ramene

$$Q_{1B \max} = S_{1D-d \max} \cdot v_1 = 0,094 \cdot 0,2 = 0,019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.1.16. Čas t_r potřebný k rozjezdu a brzdění hydraulického válce

K času rovnoměrného pohybu hydraulického válce musíme připočítat čas potřebný k rozjezdu a brzdění, abychom dostali celkový čas procesu válce.

$$t_r = t_{\text{náběh}} + t_{\text{přestavení}} = 0,3 + 0,1 = 0,400 \text{ s}$$

5.1.17. Min. čas $t_{1A \min}$ posuvu vpřed na plunžr

$$t_{1A \min} = \frac{S_{1D \min} \cdot (h_1 - h'_1)}{Q_{1A \min}} + 2t_r = \frac{0,038 \cdot (2-1)}{0,008} + 0,8 = 5,800 \text{ s}$$

5.1.18. Max. čas $t_{1A \max}$ posuvu vpřed na plunžr

$$t_{1A \max} = \frac{S_{1D \max} \cdot (h_1 - h'_1)}{Q_{1A \max}} + 2t_r = \frac{0,125 \cdot (2-1)}{0,025} + 0,8 = 5,800 \text{ s}$$

5.1.19. Min. čas $t_{1B \min}$ posuvu vpřed na píst

$$t_{1B \min} = \frac{S_{1D \min} \cdot h'_1}{Q_{1A \min}} + 2t_r = \frac{0,038 \cdot 1}{0,008} + 0,8 = 5,800 \text{ s}$$

5.1.20. Max. čas $t_{1B \max}$ posuvu vpřed na píst

$$t_{1B \max} = \frac{S_{1D \max} \cdot h'_1}{Q_{1A \max}} + 2t_r = \frac{0,125 \cdot 1}{0,025} + 0,8 = 5,800 \text{ s}$$

5.1.21. Min. čas $t_{1C \min}$ posuvu zpět

$$t_{1C \min} = \frac{S_{1D \min} \cdot h_1}{Q_{1A \min}} + 2t_r = \frac{0,038 \cdot 2}{0,008} + 0,8 = 10,800 \text{ s}$$

5.1.22. Max. čas $t_{1C \max}$ posuvu zpět

$$t_{1C \max} = \frac{S_{1D \max} \cdot h_1}{Q_{1A \max}} + 2t_r = \frac{0,125 \cdot 2}{0,025} + 0,8 = 10,800 \text{ s}$$

5.1.23. Celková minimální doba periody $t_{cp \min}$

$$t_{cp \min} = t_{1A \min} + t_{1B \min} + t_{1C \min} = 5,8 + 5,8 + 10,8 = 22,4 \text{ s}$$

5.1.24. Celková maximální doba jedné periody $t_{cp \max}$

$$t_{cp \max} = t_{1A \max} + t_{1B \max} + t_{1C \max} = 5,8 + 5,8 + 10,8 = 22,4 \text{ s}$$

5.1.25. Min. geometrický objem $V_{g \min}$ hydromotoru

$$V_{g \min} = \frac{Q_{1A \min}}{n_1} = \frac{0,008}{\frac{1450}{60}} = \frac{0,008}{24,1\bar{6}} = 0,00375 \text{ m}^3$$

5.1.26. Max. geometrický objem $V_{g \max}$ hydromotoru

$$V_{g \max} = \frac{Q_{1A \max}}{n_1} = \frac{0,038}{\frac{1450}{60}} = \frac{0,038}{24,1\bar{6}} = 0,0188 \text{ m}^3$$

5.1.27. Min. výkon $P_{h \min}$ hydromotoru

$$P_{\min} = F_{\min} \cdot v_1 = 1200000 \cdot 0,200 = 240000 \text{ W}$$

5.1.28. Max. výkon $P_{h \max}$ hydromotoru

$$P_{\max} = F_{\max} \cdot v_1 = 6000000 \cdot 0,200 = 1200000 \text{ W}$$

5.2. Výpočet úhlu záchyty čelistí

Na materiál drcený mezi čelistmi drtiče působí drtící síla znázorněná na obr. 24. Pro zjednodušení výpočtu ke zjištění maximálního přípustného úhlu záchyty předpokládám kulovitý tvar materiálu, jehož hmotnost je zanedbatelná vzhledem k velikosti působících sil. Drtič pohyblivou čelistí působí na drcený materiál drtící silou F_{\max} . Tato síla je kolmá na plochu pohyblivé čelisti a vyvolá reakční sílu na pevné čelisti $F_{\max R}$, která má stejnou velikost. Vodorovné složky těchto sil vytlačují zachycený materiál z čelistí. Proti nim však působí vodorovné složky třecích sil.

Aby zůstal materiál zachycen mezi čelistmi musí být vodorovné složky třecích sil větší než vodorovné složky sil F_{\max} a $F_{\max R}$. Platí-li $F_{\max} = F_{\max R} = F$, mohu zapsat rovnici vycházející z rovnice rovnováhy takto:

$$2 \cdot F \cdot \sin \frac{\beta}{2} \leq 2 \cdot f \cdot F \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

Rovnici upravím a dostanu výraz:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \leq f$$

Součinitel tření je roven tangentě úhlu tření: (Ze strojnických tabulek [20]:
 $f = 0,20 \div 0,30 \Rightarrow$ volím součinitel smykového tření mezi čelistí a materiálem $f = 0,20$)

$$f = \operatorname{tg} \varphi$$

$$0,20 = \operatorname{tg} \varphi$$

$$\varphi = \operatorname{atctg} 0,20 = 11,3^\circ$$

Po dosazení za součinitele tření dostanu výraz:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \leq \operatorname{tg} \varphi$$

Po úpravě mohu napsat, že platí vztah:

$$\beta \leq 2 \cdot \varphi$$

$$\beta \leq 2 \cdot 11,3^\circ$$

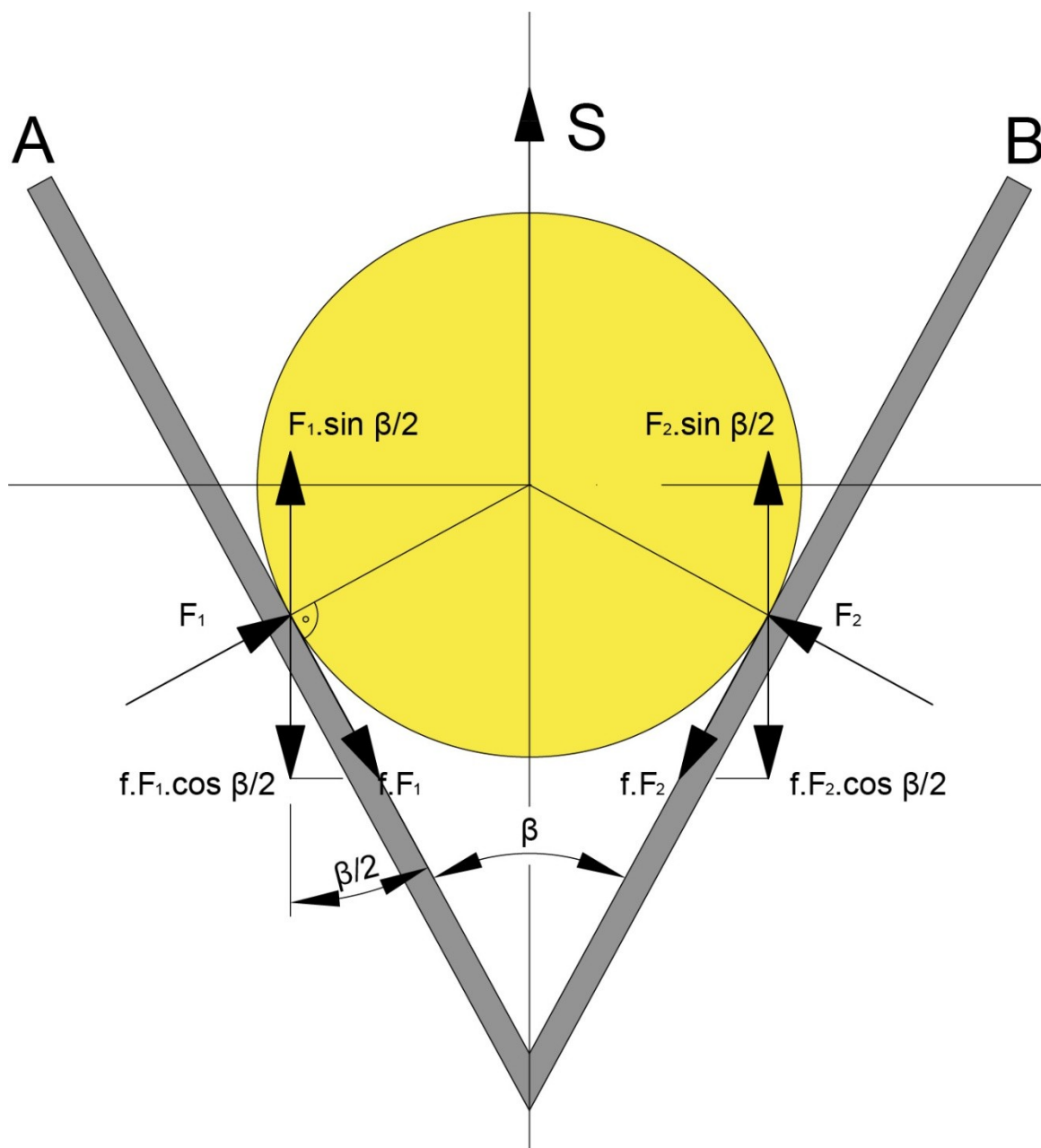
$$\beta \leq 22,6^\circ$$

Z hlediska bezpečnosti volím hodnotu nižší, a to $\beta = 20^\circ$

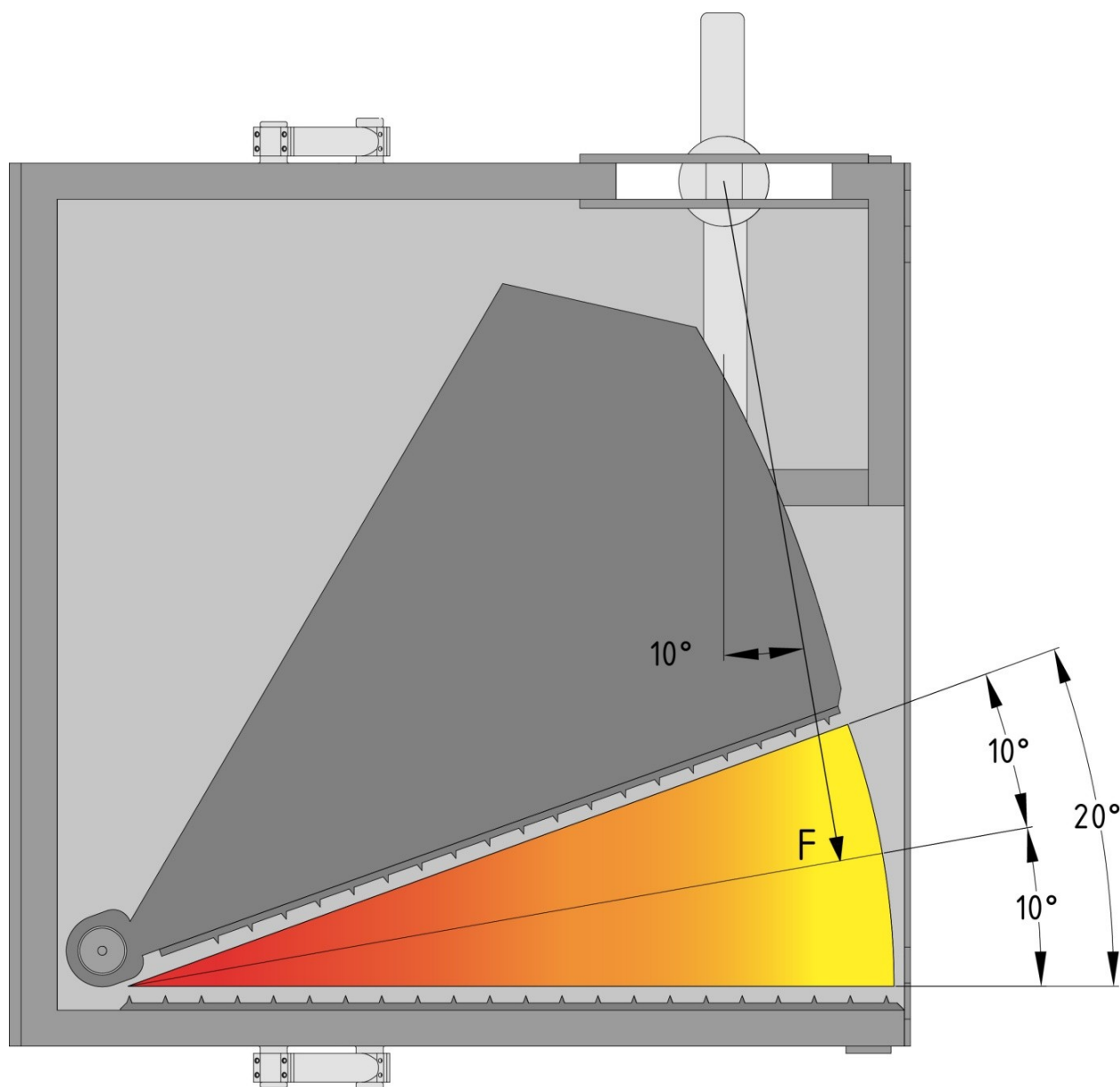
V praxi se úhel záchyty volí v rozmezí:

- Těžce drtitelné materiály $16^\circ \div 20^\circ$
- Středně drtitelné materiály $18^\circ \div 22^\circ$

V praxi však dochází k "vystřelování" materiálu z čelistí drtiče. Důvodem je v tomto případě překročení hodnoty $2 \cdot \varphi$ úhlu záchyty mezi drceným materiálem a plochou čelisti.



Obr. 24 - Schéma rozložení působících sil na drcené zrno mezi čelistmi



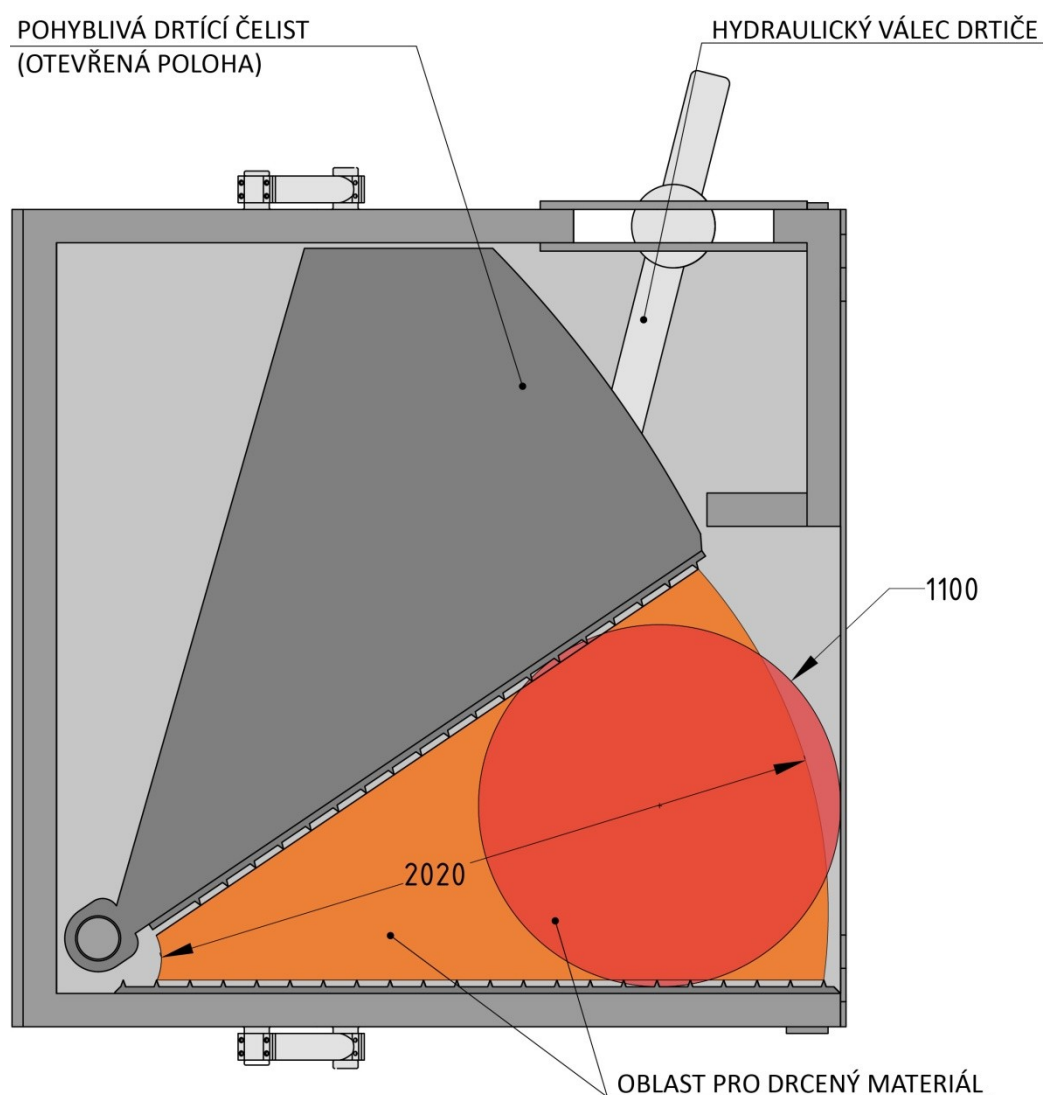
Obr. 25 - Schéma oblasti, ve které působí maximální drtící síla F

5.3. Výpočet stupně zdrobnění

Jedná se o jednu ze základních charakteristik drtičů druhotných surovin, která je v praxi velmi významnou. Vyjadřuje poměr mezi maximální velikostí zrna materiálu před zpracováním a maximální velikostí zrna produktu drcení. Vztah pro výpočet stupně zdrobnění je dán takto:

$$Z = \frac{D}{d} = \frac{2000}{300} = 6,666$$

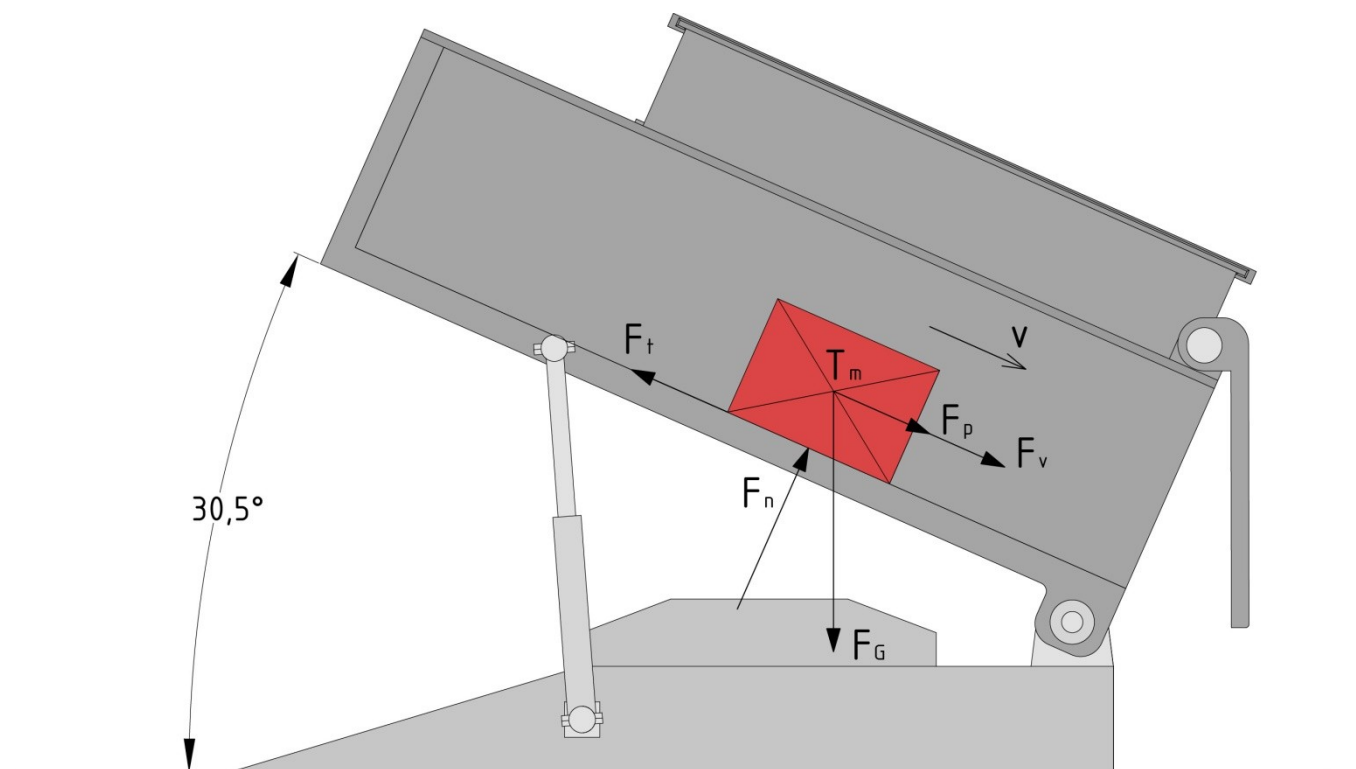
V reálném provozu se velikost materiálu určuje obtížně. To je především způsobeno nepravidelným tvarem a velikostí drceného materiálu. Přesnou velikost zrn u nepravidelných materiálů nelze vypočítat. Avšak k určení velikosti se běžně používají síta.



Obr. 26 - Schéma k určení maximálních rozměrů šrotu

5.4. Výpočet úhlu skluzu pro vyprázdnění komory

Zdvihnutím komory docílíme vyprázdnění zavážecího prostoru po dokončení drtícího procesu. Ke skluzu zdrobnělého materiálu využijeme tíhové síly na nakloněné rovině. Při výpočtu vycházím ze vztahů pro výpočty na nakloněné rovině. Při výpočtu silové bilance neuvažuji odpor vzduchu, proto nemá na výpočet vliv hmotnost vysypávaného materiálu.



Obr. 27 - Schéma pro výpočet úhlu pro vyprázdnění komory

Výslednicí tíhové síly \vec{F}_G a reakční síly \vec{F}_R je pohybová síla \vec{F}_p , způsobující posuv materiálu. Směr této síly je k nakloněné rovině rovnoběžný.

$$\vec{F}_p = \vec{F}_G + \vec{F}_R$$

Pohybovou sílu \vec{F}_p , získám tak, že tíhovou sílu \vec{F}_G rozložím na dvě vůči sobě kolmé složky.

Na normálovou sílu \vec{F}_n , která je kolmá k nakloněné rovině:

$$F_n = F_G \cdot \cos \alpha$$

a na pohybovou složku tíhové síly \vec{F}_p , která je rovnoběžná k nakloněné rovině:

$$F_p = F_G \cdot \sin \alpha$$

Z druhého Newtonova zákona mohu napsat vztah pro pohybovou sílu \vec{F}_p :

$$F_p = m \cdot a$$

Spojením obou rovnic dostanu vztah:

$$m \cdot a = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$a = g \cdot \sin \alpha$$

Mezi materiálem a podložkou působí třecí síla \vec{F}_t proti směru posuvu:

$$F_t = f \cdot F_n$$

$$F_t = f \cdot F_G \cdot \cos \alpha$$

Vzájemná velikost třecí a pohybové síly je vyjádřena vztahem:

$$F_p > F_t$$

Výsledná síla \vec{F}_v působí ve směru posuvu materiálu a platí vztah:

$$\vec{F}_v = F_p - F_t$$

$$m \cdot a = F_p - F_t$$

Po úpravě dostanu vztah:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Vyjádřením zrychlení a ze vztahu dostanu rovnici, kterou dále upravím. Za zrychlení dosadím nulu, abych zjistil minimální velikost úhlu vyprázdnění komory α_{\min} :

$$a = g \cdot (\sin \alpha_{\min} - f \cdot \cos \alpha_{\min})$$

$$0 = \sin \alpha_{\min} - f \cdot \cos \alpha_{\min}$$

$$0 = \sin \alpha_{\min} - f \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{\min}}$$

$$\sin \alpha_{\min} = f \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{\min}}$$

$$\sin^2 \alpha_{\min} = f^2 \cdot (1 - \sin^2 \alpha_{\min})$$

$$\sin^2 \alpha_{\min} = f^2 - f^2 \cdot \sin^2 \alpha_{\min}$$

$$\sin^2 \alpha_{\min} + f^2 \cdot \sin^2 \alpha_{\min} = f^2$$

$$\sin^2 \alpha_{\min} \cdot (1 + f^2) = f^2$$

$$\sin^2 \alpha_{\min} = \frac{f^2}{(1+f^2)}$$

$$\sin \alpha_{\min} = \pm \sqrt{\frac{f^2}{(1+f^2)}}$$

$$\alpha_{\min} = \arcsin \left(\pm \sqrt{\frac{f^2}{(1+f^2)}} \right) = \arcsin \left(\pm \sqrt{\frac{0,2^2}{(1+0,2^2)}} \right)$$

$$\alpha_{\min} \in (11,31^\circ; 191,31^\circ) \rightarrow \alpha > 11,31^\circ$$

Každý úhel větší jak výše vypočtený způsobí sesunutí nadrceného materiálu ven z drtící komory. Tímto jsem vypočetl minimální úhel náklonu, ovšem pro otevření bočních vrat při vysypávání je nutné zvolit úhel větší, aby byla zajištěna dostatečná velikost výstupního otvoru. Při volbě šířky mezery mezi drtící komorou a vraty vycházím z požadavku na maximální velikost zpracovaného šrotu, která je 300 mm. Proto minimální mezera mezi vraty a drtící komorou musí být 300 mm. Je však potřeba volit mezeru s dostatečnou rezervou, aby nedošlo k zaklínění více kusů při vysypávání.

Volím proto šířku mezery 400 mm. Takové šířky mezery dosáhnou při úhlu naklonění $\alpha = 30,5^\circ$. O tento úhel se drtící komora nakloní pomocí dvou hydraulických pístů o zdvihu $l_z = 625$ mm.

5.5. Výpočet síly potřebné pro zdvih komory

Zdvihací síla \vec{F}_z působící ve vzdálenosti l od čepu (VD č. VSB/HRA0006/012 Poz.: 4) musí být větší než tíhová síla \vec{F}_{Gk} komory působící na rameni x . Síla \vec{F}_z působí pod úhlem $12,75^\circ$, je tedy nutno nejprve vypočítat její svislou složku \vec{F}_{zy} . Těžiště nebude přesně ve středu drtící komory, ale bude posunuto blíže k čepu, a to proto, že většina hmotnosti stroje i drceného materiálu bude na této straně. Zvedací síla \vec{F}_z působí proti směru tíhové síly \vec{F}_{Gk}

Platí tedy vztah:

$$F_{zy} \cdot l > F_{Gk} \cdot x$$

$$F_{zy} > \frac{F_{Gk} \cdot x}{l}$$

$$F_{zy} > \frac{(m_k + m) \cdot g \cdot x}{l}$$

$$F_{zy} > \frac{(8600 + 2172) \cdot 9,81 \cdot 1,350}{2,410} = 59\,194 \text{ N}$$

Sílu \vec{F}_z potřebnou pro zdvih drtící komory vypočítám pomocí goniometrické funkce ze svislé složky síly \vec{F}_{zy} :

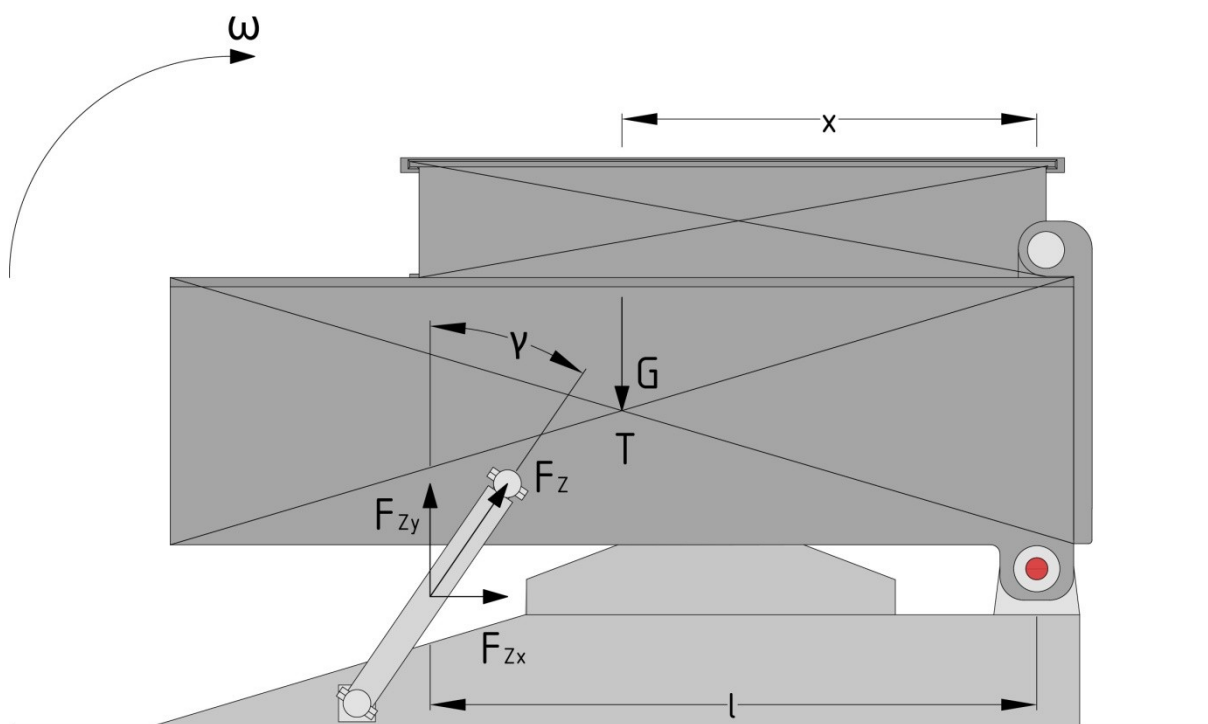
$$\cos \gamma = \frac{F_{zy}}{F_z} \rightarrow F_z = \frac{F_{zy}}{\cos \gamma}$$

$$F_z = \frac{F_{zy}}{\cos \gamma} = \frac{59\,194}{\cos 12,75^\circ} =$$

$$F_z = 60691 \text{ N}$$

Ke zdvihu drtící komory jsou použity dva hydraulické motory, proto síla každého z nich bude mít poloviční hodnotu.

Výsledná síla hydraulického válce pro zvedání drtící komory musí být větší než 30 345,5 N. Z důvodu bezpečnosti však volím minimální zvedací sílu $F_{z \min} = 55\,000 \text{ N}$.



Obr. 28 - Schéma pro výpočet síly potřebné pro zdvih drtící komory

5.6. Výpočet hydraulických válců pro zvedání drtící komory

Výpočet zvedacího hydraulického válce (VD č. VSB/HRA0006/012 Poz.: 3 a 4) je obdobný jako výpočet hydraulického válce (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 3) drtícího ramene (řešeného v bodě 5.1).

5.6.1. Min. průměr D_2 zvedacího pístu

$$\text{Ze vztahu: } p = \frac{F_{z \min}}{S} = \frac{F_{z \min}}{\frac{\pi \cdot D_2^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{z \min}}{\pi \cdot D_2^2}$$

$$\text{vyjádřím: } D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{z \min}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 55\,000}{\pi \cdot 32000000}} = 0,047 \text{ m}$$

5.6.2. Min. plocha S_{2D} průřezu pístu

$$S_{2D} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,047^2}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

5.6.3. Min. plocha S_{2d} průřezu pístnice

$$\text{Ze vztahu: } \frac{S_{2D}}{S_{2d}} = \frac{2}{1}$$

$$\text{vyjádřím: } S_{2d} = \frac{S_{2D}}{2} = \frac{0,002}{2} = 0,00086 \text{ m}^2$$

5.6.4. Min. průměr d_2 pístnice

$$\text{Ze vztahu: } S_{2d} = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

$$\text{vyjádřím: } d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{2d}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00086}{\pi}} = 0,033 \text{ m}$$

5.6.5. Průtok Q_{2A} na přívodu pístu

$$Q_{2A} = S_{2D} \cdot v_2 = 0,002 \cdot 0,2 = 0,0003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.6.6. Průtok Q_{2B} na vývodu pístu

$$Q_{2B} = S_{2D-d} \cdot v_2 = 0,001 \cdot 0,2 = 0,0002 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

5.6.7. Čas t_r potřebný k rozjezdu a brzdění hydraulického válce

K času rovnoměrného pohybu hydraulického válce musíme připočítat čas potřebný k rozjezdu a brzdění, abychom dostali celkový čas procesu válce.

$$t_r = t_{\text{náběh}} + t_{\text{přestavení}} = 0,3 + 0,1 = 0,400 \text{ s}$$

5.6.8. Čas t_{2A} posuvu vpřed

$$t_{2A} = \frac{S_{2D} \cdot (h_2)}{Q_{2A}} + 2t_r = \frac{0,002 \cdot (0,625)}{0,0003} + 0,8 = 3,925 \text{ s}$$

5.6.9. Čas t_{2B} posuvu zpět

$$t_{2B} = \frac{S_{2D} \cdot h_2}{Q_{2A}} + 2t_r = \frac{0,002 \cdot (0,625)}{0,0003} + 0,8 = 3,925 \text{ s}$$

5.6.10. Celková maximální doba jedné periody vysypání t_c vysypání

$$t_{c \text{ vysypání}} = t_{2A} + t_{2B} = 3,55 + 3,55 = 7,85 \text{ s}$$

5.7. Volba elektromotoru pro otevírání víka

Pohon víka (VD č. VSB/HRA0006/015) se skládá z elektromotoru (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 14) s pastorkem s čelním ozubením (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 18) a hřebenem (VD č. VSB/HRA0006/015 Poz.: 17). Otáčky jsou dány zvolenou rychlostí posuvu ochranného víka.

Výkon motoru potřebný pro posuv vypočítám ze vztahu:

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{m_v \cdot a_v \cdot v_v}{\eta} = \frac{95 \cdot 1 \cdot 0,3}{0,95} = 30 \text{ W}$$

Pro určení vhodného elektromotoru je třeba vypočítat potřebný kroutící moment elektromotoru:

$$M_k = P \cdot r = 30 \cdot 0,109736 = 3,29 \text{ N} \cdot \text{m}$$

P ...výkon elektromotoru [W]

η ...celková účinnost [-]

v_v ...rychlost posuvu ochranného víka, volím $v_v = 0,3 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

a_v ...zrychlení posuvu ochranného víka, volím $a_v = 1,0 \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$

M_k ...kroutící moment elektromotoru [N.m]

r ...roztečný poloměr ozubeného kola [m]

Z katalogu [A] volím pro pohon víka elektromotor SIEMENS 1LA7083 - 8AB

$$P = 0,25 \text{ [kW]}$$

$$M_k = 3,5 \text{ [N.m]}$$

$$n_2 = 5,3 \text{ [1/min}^{-1}\text{]}$$

$$i = 125 \text{ [-]}$$



Obr. 29 - Elektromotory Siemens [15]

Dále je nutné vypočítat dobu, za kterou se ochranné víko otevře a zavře. Tento čas je důležitý pro výpočet celkového času jednoho drtícího cyklu:

$$v_v = \frac{s}{t_v} \rightarrow t_v = \frac{s}{v_v}$$

$$t_v = \frac{s}{v_v} = \frac{1,55}{0,3} = 5,2 \text{ s}$$

5.8. Výpočet maximální doby jednoho drtícího cyklu $t_{c \max}$

V mém případě bude drtící cyklus tvořen třemi po sobě následujícími fázemi drcení materiálu mezi čelistmi. První fáze bude z výchozí krajní polohy, tj. z maximálního rozevření čelistí a polovinu dráhy pojede hydraulický motor na píst a druhou polovinu dráhy na plunžr. Po stlačení drceného šrotu se pohyblivá čelist rozevře do poloviny maximálního rozevření a začne drtit materiál v drtící komoře. Následně po dokončení druhé fáze drcení se pohyblivá čelist vrátí do 25% maximálního rozevření čelistí a započne poslední, třetí fázi drcení. Po dokončení drcení se pohyblivá čelist vrátí do výchozí pozice.

K tomuto času je ještě nutno připočítat čas na zavření plnicího víka před zahájením drtícího cyklu a čas potřebný pro vysypání rozdrcené směsi a zároveň otevření plnicího víka.

$$t_{c \max} = t_{1A \max} + t_{1B \max} + \frac{1}{2}t_{1C \max} + t_{1A \max} + \frac{1}{4}t_{1C \max} + \frac{1}{2}t_{1A \max} +$$

$$t_{1C \max} + t_{c \text{ vysypání}} + t_v =$$

$$t_{c \max} = 5,8 + 5,8 + 5,4 + 5,8 + 2,7 + 2,9 + 10,8 + 7,85 + 5,2 = 52,25s$$

5.9. Výpočet výkonu drtiče litiny

Výkon drtícího zařízení je závislý na stupni zdrobnění, velikosti drtiče a maximální velikosti drcených kusů. Při výpočtu je třeba brát v úvahu, že nejsme schopni zaplnit celý objem zavážecího prostoru. Tento problém vyřeším vhodným zvolením součinitele nakypření materiálu. Ten se pohybuje v rozmezí cca $0,25 \div 0,60$. Volím součinitel nakypření 0,25. Dále je třeba počítat s časem, kdy bude obsluha pomocí jeřábové plošiny zavážet stroj. Tento čas stanovuji na $t_{c \text{ celkový}} = 15 \text{ min}$. Hustota litiny je $\rho = 7030 \text{ kg.m}^{-3}$.

Pro výpočet objemu je třeba vypočítat obsah plochy dna mezi rozevřenými čelistmi. Tento výpočet jsem provedl pomocí PC Software AutoDesk Inventor 2013:

$$S = 1,1 \text{ m}^2$$

$$V = 0,25 \cdot S \cdot v = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1,03 = 0,309 \text{ m}^3$$

$$m = V \cdot \rho = 0,309 \cdot 7030 = 2172 \text{ kg}$$

$$Q = m \cdot \frac{60}{t_{c \text{ zavezení}} + t_{c \text{ max}}}$$

$$Q = 2172 \cdot \frac{3600}{900 + 52,25} = 8211 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

S ...plocha mezi rozevřenými čelistmi [m^2]

V ...objem materiálu k drcení v drtící komoře [m^3]

ρ ...hustota litiny [kg.m^{-3}]

m ...hmotnost zavážky [kg]

Q ...hodinový výkon drtiče litiny [t.h^{-1}]

5.10. Návrh čepu pohyblivé čelisti

Čepový spoj je typický zástupce rozebíratelného, pohyblivého spoje s tvarovým stykem. Rozebíratelného proto, že je možné ho snadno a kdykoliv demontovat a opět smontovat, aniž bychom při tom porušili spojované a spojovací části. Za zmínku stojí, že rozměry čepů jsou normalizovány. S tvarovým stykem proto, že vnější silové zatížení je přenášeno přes válcové tělo spojovacího čepu, tedy přes jeho tvar.

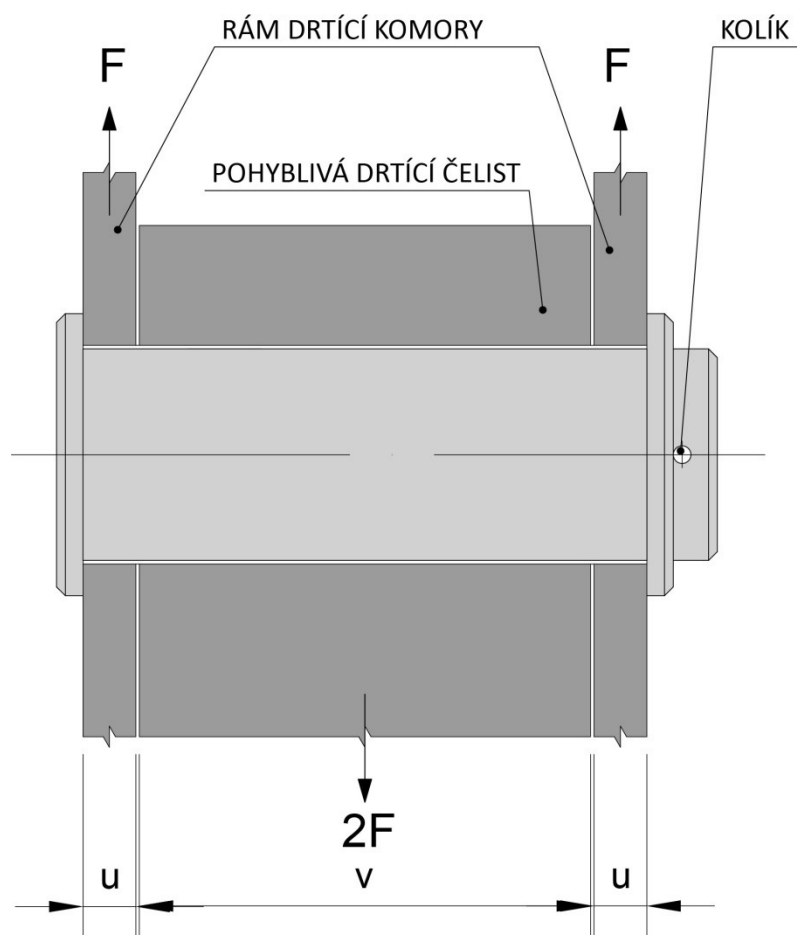
Zajistit čep proti osovému posuvu a zabránit tím jeho vypadnutí je možné více způsoby. Například pomocí stavěcího šroubu, nebo čepem s hlavou na jednom konci a podložkou s kolíkem na druhém konci čepu. Čep je v podstatě tlustý válcový kolík, obvykle je v součástech uložen s vůlí a vytváří kloubový spoj. Může však také sloužit jako krátká nosná hřídel. Je však nutné jej pečlivě mazat.

Výhody čepového spoje:

- levný spoj
- rychlá výroba
- snadná montáž a demontáž
- provozní náklady (pouze mazání)

Nevýhody čepového spoje:

- přenese pouze zatížení kolmé na osu (radiální), nikoli ve směru osy (axiální)
- při provozu se musí mazat
- čep musí být axiálně zajištěn



Obr. 30 - Schéma pro návrh čepu pohyblivé čelisti

5.10.1. Kontrola ohybového napětí

Pro výpočet namáhání v ohybu je nutné zjistit dovolené namáhání v ohybu, které je pro každý materiál specifické. Protože předpokládám vysoké namáhání, volím materiál pro čep konstrukční ocel 14220.4. Hodnotu získám ze strojnických tabulek [20]. Velikost dovoleného namáhání je $\sigma_{D0} = 390 \text{ MPa}$. [20]

$$\sigma_0 = \frac{M_{0\max}}{W_0} = \frac{M_{0\max}}{\frac{\pi \cdot d_c^3}{32}} \leq \sigma_{D0}$$

$$\frac{M_{0\max}}{\frac{\pi \cdot d_c^3}{32}} \leq \sigma_{D0}$$

Vyjádřím průměr čepu $d_{\check{c}}$:

$$M_{0\max} \leq \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32} \cdot \sigma_{D0}$$

$$\frac{32 \cdot M_{0\max}}{\pi \cdot \sigma_{D0}} \leq d_{\check{c}}^3$$

$$d_{\check{c}} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{0\max}}{\pi \cdot \sigma_{D0}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 810\,000}{\pi \cdot 390\,000\,000}} = 0,277 \text{ m}$$

σ_o ...výpočtové namáhání v ohybu [MPa]

σ_{D0} ...dovolené namáhání v ohybu [MPa]

$M_{0\max}$...maximální ohybový moment [Nm]

W_o ...modul průřezu v ohybu [mm³]

Výpočet průměru čepu (VD VSB/HRA0006/013 Poz.: 8) je pouze orientační. Důvodem je možnost "vzpříčení" kusu drcené litiny, které by v daný moment začalo působit jako pevný bod. Tím pádem by síla zatěžující čep pohyblivé čelisti mohla být větší než maximální drtící síla F . Předpokládám však, že při stlačení mezi čelistmi dojde k rozdrčení litiny, jedná se o poměrně křehký materiál.

Dalším důvodem, znemožňujícím určení přesné zatěžující síly je různorodý tvar a velikost drceného materiálu. Nemohu tedy pomocí výpočtu získat přesnou hodnotu průměru čepu $d_{\check{c}}$. Ovšem pro prvotní návrh můj výpočet postačuje. Dalším krokem pro přesné stanovení zatěžující síly by bylo provedení praktického kontrolního měření na prototypu za pomoci tenzometrů.

Pro výpočet maximálního ohybového momentu potřebuji získat hodnoty reakcí a velikosti ramene, na kterém působí.

Výpočet velikosti reakcí provedu následujícím způsobem:

$$F_{rA} = F_{rB} = \frac{F_{\max}}{2} = \frac{6\,000\,000}{2} = 3\,000\,000 \text{ N}$$

F_{rA} ...síla reakce [N]

F_{rB} ...síla reakce [N]

F ...působící síla [N]

Dále spočítám rameno, na kterém síla působí:

$$c = \frac{2 \cdot u}{4} + \frac{v}{4} = \frac{u}{2} + \frac{v}{4} = \frac{0,14}{2} + \frac{1,03}{4} = 0,27 \text{ m}$$

c ...rameno na kterém síla působí [mm]

u ...výška kotvení čepu (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 8) [mm]

v ...výška ramene (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 2) [mm]

Nyní z vypočtených veličin získám hodnotu maximálního ohybového momentu:

$$M_{0\max} = F_{rA} \cdot c = 3\,000\,000 \cdot 0,27 = 810\,000 \text{ Nm}$$

5.10.2. Kontrola smykového napětí

Pro výpočet namáhání na smyk je nutno zjistit ze strojnických tabulek dovolené namáhání ve smyku, které je pro každý materiál specifické. Materiál pro čep, jak jsem již uvedl výše, volím kalenou ocel 14220.4. Velikost dovoleného namáhání ve smyku je $\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \sigma_{Do} = 234 \text{ MPa}$.

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{M_{0\max}}{\frac{\pi \cdot d_\zeta^2}{2}} \leq \tau_{Ds}$$

$$\frac{M_{0\max}}{\frac{\pi \cdot d_\zeta^2}{2}} \leq \tau_{Ds}$$

$$M_{0\max} \leq \frac{\pi \cdot d_\zeta^2}{2} \cdot \tau_{Ds}$$

$$\frac{2 \cdot M_{0\max}}{\pi \cdot \tau_{Ds}} \leq d_\zeta^2$$

$$d_\zeta \geq \sqrt{\frac{2 \cdot M_{0\max}}{\pi \cdot \tau_{Ds}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 810\,000}{\pi \cdot 234\,000\,000}} = 0,047 \text{ m}$$

τ_s ...výpočtové namáhání ve smyku [MPa]

τ_{Ds} ...dovolené namáhání ve smyku [MPa]

F ...síla působící na kolík [N]

S ...plocha průřezu čepu namáhaná smykem [mm²]

d_ζ ...průměr čepu [mm]

5.10.3. Kontrola tlakového napětí

Pro výpočet namáhání na otláčení je nutno zjistit ze strojnických tabulek dovolený tlak v táhlu p_{D1} a dovolený tlak ve vidlici p_{D2} , které jsou rovněž pro každý materiál specifické. Materiál pro táhlo volím ocel 14220.4. Velikost dovoleného namáhání na otláčení (pro nepohyblivou část) je $p_{D1} = \sigma_{D0} = 390 \text{ MPa}$. Materiál pro vidlici volím ocel 14220. Velikost dovoleného namáhání na otláčení (pro pohyblivou část) je $p_{D2} = 104 \text{ MPa}$.

Výpočet pro tlak v táhlu:

$$p_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{F}{v \cdot d_{\xi}} \leq p_{D1}$$

Vyjádřím průměr čepu d_{ξ} :

$$\frac{F}{v \cdot d_{\xi}} \leq p_{D1}$$

$$F \leq v \cdot d_{\xi} \cdot p_{D1}$$

$$d_{\xi} \geq \frac{F}{v \cdot p_{D1}} = \frac{6\,000\,000}{0,6 \cdot 390\,000\,000} = 0,025 \text{ m}$$

Výpočet pro tlak ve vidlici:

$$p_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{F}{2 \cdot u \cdot d_{\xi}} \leq p_{D2}$$

Vyjádřím průměr čepu d_{ξ} :

$$\frac{F}{2 \cdot u \cdot d_{\xi}} \leq p_{D2}$$

$$F \leq 2 \cdot u \cdot d_{\xi} \cdot p_{D2}$$

$$d_{\xi} \geq \frac{F}{2 \cdot u \cdot p_{D2}} = \frac{6\,000\,000}{2 \cdot 0,1 \cdot 104\,000\,000} = 0,288 \text{ m}$$

p_1	...výpočtový tlak (otlačení) v táhlu [MPa]
p_2	...výpočtový tlak (otlačení) ve vidlici [MPa]
F	...síla působící na čep [N]
S_1	...plocha čepu namáhaná na otlačení v táhlu [mm ²]
S_2	...plocha čepu namáhaná na otlačení ve vidlici [mm ²]
d_ϵ	...průměr čepu [mm]
u	...šířka ramen vidlice [mm]
v	...šířka táhla [mm]
p_{D1}	...dovolený tlak (otlačení) v táhlu [MPa]
p_{D2}	...dovolený tlak (otlačení) ve vidlici [MPa]

Pro volbu průměru čepu d vycházím z výpočtu, který byl pro návrh nejméně příznivý, tj. největší průměr $d_\epsilon = 28,8$ cm. Z důvodu bezpečnosti volím průměr čepu $d_\epsilon = 30$ cm.

5.11. Návrh šroubového jištění uložení hydraulického válce

Normalizované šrouby jsou nejčastěji vyráběny z ušlechtilých konstrukčních ocelí a nízkolegovaných ocelí. Všechny šrouby můžeme zatěžovat pouze tahovou silou. Materiál šroubového jištění (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 6).

Metrický závit je nejčastěji používaný typ závitu. Profil je tvořen rovnostranným trojúhelníkem se sraženým vrcholem a zaobleným dnem závitu a vrcholovým úhlem 60° .

Šrouby jsou z oceli 12060.1. Ta má dovolený tlak v tahu $p_{tD} = 345 \text{ MPa}$. K uchycení hydraulického válce je použito celkem 8 ks šroubů. Pro výpočet šroubového spojení vycházím z následujícího vztahu:

$$p = \frac{F}{8 \cdot S} = \frac{F}{8 \cdot \pi \cdot d_s^2} \leq p_D$$

vyjádřím střední průměr závitu šroubu d_s :

$$d_s \geq \sqrt{\frac{F}{8 \cdot \pi \cdot p_D}} = \sqrt{\frac{6\,000\,000}{8 \cdot \pi \cdot 345\,000\,000}}$$

$$d_s \geq 0,0263 \text{ m}$$

Z výpočtu vyplývá, že střední průměr šroubu d_s musí být větší než 26,3 mm. Volím proto šroub s metrickým závitem M30x3 a středním průměrem $d_s = 26,752 \text{ mm}$.

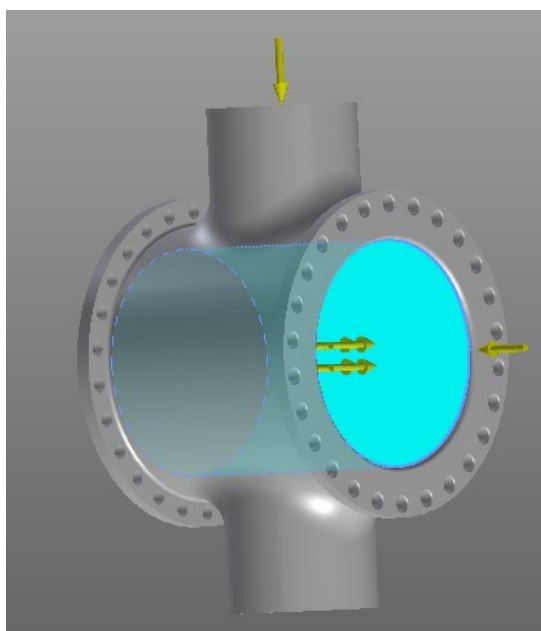
5.12. Kontrola středního dílu hydraulického válce metodou MKP

Ke kontrole únosnosti středního dílu pláště hydraulického válce (VD č. VSB/HRA0006/006 Poz.: 4) jsem použil metodu konečných prvků. Tuto výpočtovou metodu jsem zpracoval pomocí PC softwaru AutoDesk Inventor 2013.

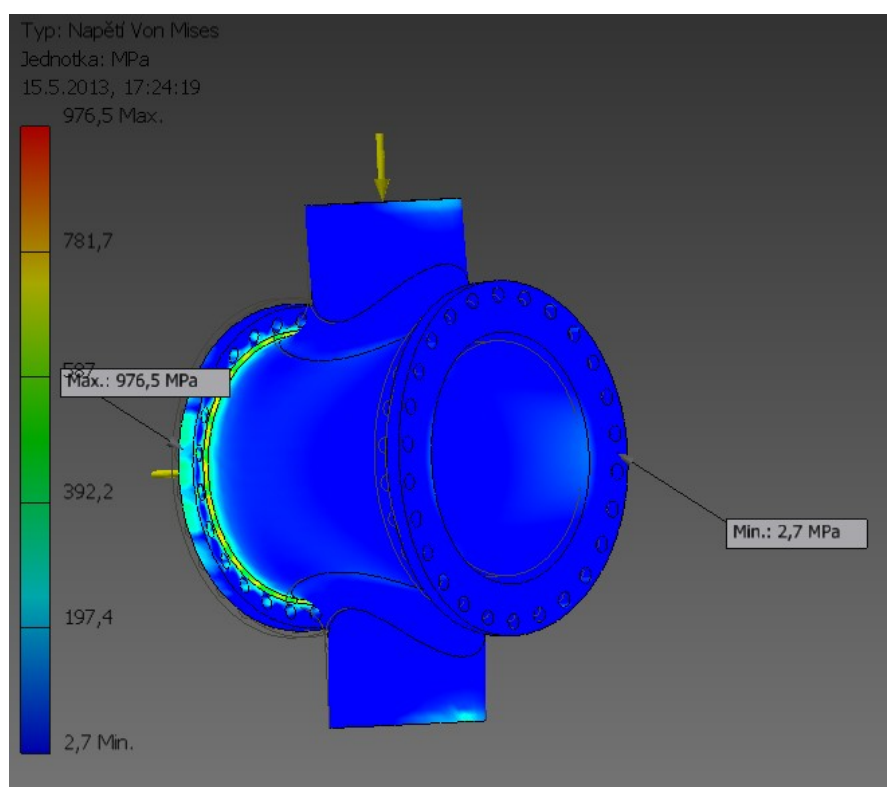
Metoda konečných prvků (dále jen „MKP“) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhů napětí, deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla, jevů elektromagnetismu, proudění tekutin apod. na vytvořeném fyzikálním modelu. Princip této metody spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do konečného počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. MKP se používá především pro kontrolu již navržených zařízení nebo pro stanovení kritického místa konstrukce.

Metodu MKP jsem použil pro zjištění, zda střední díl hydraulického válce (VD č. VSB/HRA0006/006 Poz.: 4) vydrží zatížení a nedojde k deformaci nebo k vylomení dílu z uchycení rámu (VD č. VSB/HRA0006/013 Poz.: 4 a 5). Součást je vyrobena z oceli 14140.7. Ta má mez pevnosti $R_m = 800 \div 1200$ MPa [20]. Na čelo součásti působí síla rovna drtící síle hydraulického válce, tedy $F = 6\,000$ kN. Na vnitřní stěnu působí tlak $p = 32$ MPa. Na celou součást dále působí gravitační síla.

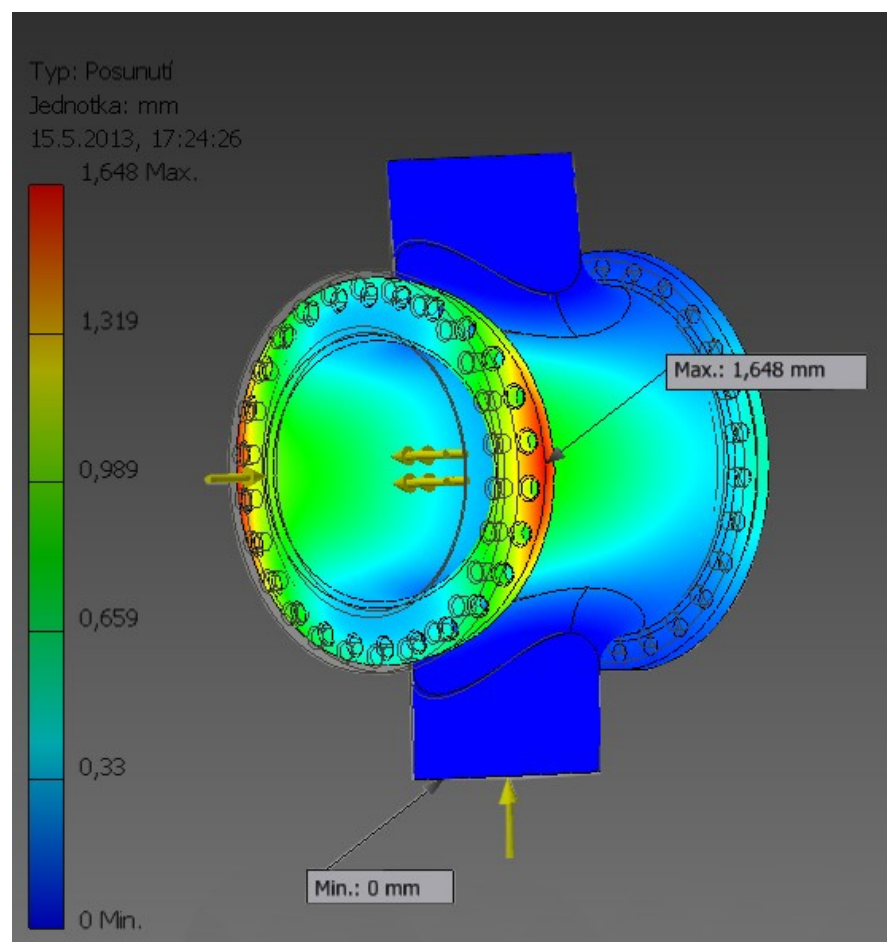
Pomocí sítě konečných prvků jsem zjistil velikost a místo maximálního napětí a také velikost deformace v daném místě. Výsledkem je, že součást je schopna odolat zatížení, kterému bude vystavena v provozu.



Obr. 31 - Schéma silového zatížení testované součásti



Obr. 32 - Schéma rozložení napětí na testované součásti



Obr. 33 - Schéma deformace testované součásti

6. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout projekčně-konstrukční řešení zařízení k drcení litinového odpadu. V zadání práce bylo požadováno zpracování rešerše v dané oblasti, použití hydraulického pohonu a jednoduchá obsluha zařízení. Dalším požadavkem bylo vytvoření technické zprávy s popisem navrhovaného zařízení doplněné o potřebné výpočty a zpracování výkresové dokumentace. Splnění těchto požadavků je popsáno níže.

Úvod mé diplomové práce je věnován základním vlastnostem drceného materiálu, litiny a rešerši zabývající se způsoby zpracování šrotu. Dále jsem provedl rešerši drtičů dle výrobců.

Další část práce je věnována technickému systému, požadavkům, které má dané zařízení splňovat. Dle požadavků jsem vytvořil orgánovou strukturu. Před započítím konstrukčních výpočtů bylo nutné zjistit varianty řešení jednotlivých operací, které bude zařízení vykonávat a vybrat z nich nejvhodnější.

Praktická část začíná popisem řešení drtiče litiny, kde jsou stručně uvedeny jednotlivé úkony a schéma znázorňující důležité části zařízení. Dále následují výpočty, nezbytné pro konstrukční návrh, například výpočet hydraulických válců, výkonu drtiče, síly potřebné pro zdvih drtící komory, návrh vhodného elektromotoru k posuvu víka, či kontrola čepů, které budou při funkci zařízení nadměrně namáhány. Řada výpočtů je doplněna praktickými schématy pro přehlednější a pohodlnější orientaci při výpočtech. Při výpočtu zatížení středního dílu hydraulického válce jsem využil možnosti simulace zatížení pomocí metody MKP v PC softwaru Autodesk Inventor 2013.

Po provedení nezbytných výpočtů jsem vytvořil digitální model drtiče litiny. Model je vytvořen pomocí počítačového programu AutoDesk Inventor 2013. Výstupem z tohoto programu je zpracovaná sestavná výkresová dokumentace, obsahující projekčně-konstrukční návrh celého zařízení. Dále obsahuje jednotlivé podsestavy a nezbytné konstrukční detaily.

7. Seznam použité literatury

- [1] Directindustry: waste treatment. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://www.directindustry.com/cat/waste-treatment/baling-presses-BK-961.html>
- [2] ATM Recyclingsystems: ATM ArnoCast. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
http://www.atm-recyclingsystems.com/fileadmin/factsheets/ATM-ArnoCast-ArnoRail-en_02.pdf
- [3] Copex. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
http://www.copex.fr/spip.php?page=uk-metaux-machines-type&id_rubrique=48
- [4] Copex. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
http://www.copex.fr/spip.php?page=uk-metaux-machines-type&id_rubrique=48&id_article=119k-metaux-machines-type&id_rubrique=48
- [5] Flourisch: China metal breaker. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://flourishchina.en.made-in-china.com/product/QoemnfbDJCkl/China-Metal-Baler-With-CE-Y83-250B.html><http://www.ssiworld.com/applications/applications2-en.htm>
- [6] Wikipedia: Drtič. Drtič [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Drti%C4%8D>
- [7] Somejh: Pomaloběžný drtič. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://www.somejh.cz/pomalobezny-drtic-odpadu-dw-3060-quot-buffel-quot-z463.html>
- [8] Fret: Mewa recyklační stroje. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://www.fret.cz/mewa-recyklaalni-stroje/>
- [9] Úprava surovin. TICHÁNEK, František. [Http://www.scribd.com/](http://www.scribd.com/) [online]. 2011 [cit.2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/64815228/Uprava-surovin>

- [10] Vlček trade. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
http://www.vlcektrade.com/images/stories/files/jmc_pehled_stroj.pdf
- [11] Technoeuro: Historie. [online]. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
<http://www.technoeuro.cz/historie>
- [12] Fagus Praha: Předdrčovače. Wwww.faguspraha.cz [online]. Praha [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: http://www.faguspraha.cz/zemedelska-technika/drtice-a-separatory-hammel_/predrcovice---primarni-drtice-hammel-rady-vb/dieselove-predrcovice-hammel-vb---d.htm
- [13] Wikipedia: Litina. Wwww.wikipedia.org [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Litina>
- [14] Etext: Zpracování kovového odpadu. BROŽEK, CSC., Doc. Ing. Milan. Wwww.etext.czu.cz [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-12-18]. Dostupné z:
http://etext.czu.cz/img/skripta/64/tf_42-1.pdf
- [15] [Http://www.pohony.cz/](http://www.pohony.cz/). Pohony: souosé převodovky s elektromotory [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.pohony.cz/cze/product_detail.php?id=36
- [16] HUBKA, V. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Zürich: Heurista, 1995. 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8
- [17] Drastík, F.: *Technické kreslení podle mezinárodních norem*. Montanex, 1994. ISBN 80-85780-10-0.
- [18] FS_SME_05_003 verze: G Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.
- [19] CSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [20] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.

8. Seznam obrázků

Obr. 1 - ATM ArnoBreak C 600 [2]	18
Obr. 2 - ATM ArnoBreak R stacionární provedení [2]	20
Obr. 3 - ATM ArnoBreak R mobilní provedení [2]	20
Obr. 4 - COPEX LIDEX Range [3]	22
Obr. 5 - COPEX CVM mobilní provedení [4]	23
Obr. 6 - COPEX CVF stacionární provedení [4]	24
Obr. 7 - Drtič HAMMEL VB-950 RED GIANT [11]	25
Obr. 8 - Hřídele s drtíci lopatkami drtiče HAMMEL VB-950 [11]	26
Obr. 9 - Nůžky s horizontální stříhem Bonfiglioni Squalo 1000T [10]	27
Obr. 10 - Bonfiglioni Squalo 1000T - transport [10]	27
Obr. 11 - Model transformačního procesu	30
Obr. 12 - Stavební struktura drtiče litiny	34
Obr. 13 - Smíšený pohyb pohyblivé drtící čelisti skládající se z posuvu rotace	35
Obr. 14 - Přímocaráy pohyb pohyblivé drtící čelisti	36
Obr. 15 - Rotační pohyb pohyblivé drtící čelisti	37
Obr. 16 - Tvar drtících ploch s ostrými zuby	39
Obr. 17 - Tvar drtících ploch s plochými zuby	40
Obr. 18 - Tvar drtících ploch se šikmými zuby	41
Obr. 19 - První varianta vyprázdnění drtící komory sklápěním dna	42
Obr. 20 - Druhá varianta vyprázdnění drtící komory zvedáním dna	43
Obr. 21 - Třetí varianta vyprázdnění drtící komory zvedáním celého stroje	44
Obr. 22 - Schéma posuvu hydraulického pístu	46
Obr. 23 - Schéma posuvu hydraulického pístu	47
Obr. 24 - Schéma rozložení působících sil na drcené zrno mezi čelistmi	53
Obr. 25 - Schéma oblasti, ve které působí maximální drtící síla F	54
Obr. 26 - Schéma k určení maximálních rozměrů šrotu	55

Obr. 27 - Schéma pro výpočet úhlu pro vyprázdnění komory.....	56
Obr. 28 - Schéma pro výpočet síly potřebné pro zdvih drtící komory	60
Obr. 29 - Elektromotory Siemens [15]	63
Obr. 30 - Schéma pro návrh čepu pohyblivé čelisti.....	67
Obr. 31 - Schéma silového zatížení testované součásti	74
Obr. 32 - Schéma rozložení napětí na testované součásti.....	75
Obr. 33 - Schéma deformace testované součásti	75

9. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Technická data drtiče ATM ArnoBreak C 400/600 [2]	19
Tabulka 2 - Technická data drtiče ATM ArnoBreak 125 S/M [2]	21
Tabulka 3 - Technická data drtiče COPEX LIDEX Range [3].....	23
Tabulka 4 - Technická data drtiče COPEX CVM/CVF Range [4].....	24
Tabulka 5 - Technická data drtičů HAMMEL řady VB [11]	26
Tabulka 6 - Technická data drtiče Bonfiglioli Squalo 1000T [10].....	28
Tabulka 7 - Požadavkový list.....	31
Tabulka 8 - Morfologická matice	33
Tabulka 9 - Zadané parametry hydraulického pístu drtiče litiny	47

10. Seznam příloh

- [A] Katalog elektromotorů SIEMENS řady 1LA ...
- [B] Článek o otěruvzdorném materiálu HARDOX 550
- [C] Vizualizace drtiče litiny
- [D] Výkresová dokumentace

Asynchronní motory nakrátko

Technická data

Technická data

Základní řada

Technická data pro výběr a objednání

Jmen. výkon	Velikost	Objednací číslo	Otáčky	Parametry při jmenovitém výkonu				Poměrný záběrný moment	Poměrný záběrný proud	Poměrný moment zvratu	Momentová třída	Momentová charakteristika	Moment setrvačnosti	Hmotnost
		Označení pro napětí a tvar viz tabulka níže		Účinnost η	Účinník $\cos\Phi$	Jmenovitý proud při 400 V	Jmenovitý moment	Mz / Mn	Ik / In při přímém spouštění	Mmax / Mn		Diagram č.	J	Tvar IM B3
6-pól, 1000 min ⁻¹ , 50Hz			min ⁻¹	%		A	Nm	-	-	-	KL	(str. 16)	kgm ²	kg
0,06	63	1LA7 060-6AB..	830	39	0,66	0,34	0,7	1,8	2,0	1,8	16	6	0,0003	3,5
0,09	63	1LA7 063-6AB..	870	40	0,70	0,47	1,0	1,8	2,0	1,9	16	6	0,0004	4,1
0,18	71	1LA7 070-6AA..	835	56	0,75	0,62	2,0	2,1	2,3	1,9	16	6	0,0006	6,3
0,25	71	1LA7 073-6AA..	850	61	0,76	0,78	2,8	2,2	2,7	2,0	16	6	0,0009	6,3
0,37	80	1LA7 080-6AA..	920	62	0,72	1,2	3,8	1,9	3,1	2,0	16	6	0,0015	7,5
0,55	80	1LA7 083-6AA..	910	67	0,74	1,6	5,8	2,1	3,4	2,1	16	6	0,0018	9,4
0,75	90S	1LA7 090-6AA..	915	69	0,76	2,1	7,8	2,2	3,7	2,3	16	6	0,0028	12,5
1,1	90L	1LA7 096-6AA..	915	72	0,77	2,9	11,5	2,3	3,8	2,4	16	6	0,0035	15,7
1,5	100L	1LA7 106-6AA..	925	74	0,75	3,9	15	2,2	4,2	2,3	16	6	0,0063	24,0
2,2	112M	1LA7 113-6AA..	940	78	0,78	5,2	22	2,2	4,6	2,5	16	6	0,011	27,0
3	132S	1LA7 130-6AA..	950	79	0,76	7,2	30	1,9	4,2	2,2	16	6	0,015	41,0
4	132M	1LA7 133-6AA..	950	80,5	0,76	9,4	40	2,1	4,5	2,4	16	6	0,019	46,0
5,5	132M	1LA7 134-6AA..	950	83	0,76	12,8	55	2,3	5,0	2,6	16	6	0,025	54,0
7,5	160M	1LA7 163-6AA..	960	86	0,74	17,0	75	2,1	4,6	2,5	16	6	0,041	76,0
11	160L	1LA7 166-6AA..	960	87,5	0,74	24,5	109	2,3	4,8	2,6	16	6	0,049	102,0

Jmen. výkon	Velikost	Objednací číslo	Otáčky	Parametry při jmenovitém výkonu			Poměrný záběrný moment	Poměrný záběrný proud	Poměrný moment zvratu	Momentová třída	Momentová charakteristika	Moment setrvačnosti	Hmotnost	
		Označení pro napětí a tvar viz tabulka níže		Účinnost η	Účinník $\cos\varphi$	Jmenovitý proud při 400 V	Jmenovitý moment	M_z / M_n	I_k / I_n	M_{max} / M_n		Diagram č.	Tvar IM B3	
8-pól, 750 min ⁻¹ , 50Hz														
kW			min ⁻¹	%		A	Nm	-	-	-	KL	(str. 16)	kg m ²	kg
0,09	71	1LA7 070-8AB..	630	53	0,68	0,36	1,4	1,9	2,2	1,7	13	13	0,0009	6,3
0,12	71	1LA7 073-8AB..	645	53	0,64	0,51	1,8	2,2	2,2	1,7	13	13	0,0009	6,3
0,18	80	1LA7 080-8AB..	675	51	0,68	0,75	2,5	1,7	2,3	1,8	13	13	0,0015	7,5
0,25	80	1LA7 083-8AB..	680	58	0,64	1,03	3,5	2,0	2,6	1,7	13	13	0,0018	9,4
0,37	90S	1LA7 090-8AB..	675	63	0,75	1,13	5,2	1,6	2,9	1,7	13	13	0,0025	10,5
0,55	90L	1LA7 096-8AB..	675	66	0,76	1,58	7,8	1,7	3,0	1,7	13	13	0,0035	13,2
0,75	100L	1LA7 106-8AB..	680	66	0,76	2,15	10,5	1,7	3,0	1,9	13	13	0,0053	20,0
1,1	100L	1LA7 107-8AB..	680	72	0,76	2,90	15,4	1,9	3,4	2,1	13	13	0,0070	22,0
1,5	112M	1LA7 113-8AB..	705	74	0,76	3,9	20	1,8	3,7	2,1	13	13	0,013	24,0
2,2	132S	1LA7 130-8AB..	695	75	0,74	5,7	30	1,9	3,9	2,3	13	13	0,014	41,0
3	132M	1LA7 133-8AB..	700	77	0,74	7,6	40	2,1	4,1	2,4	13	13	0,019	49,0
4	160M	1LA7 163-8AB..	715	80	0,72	10	53	2,2	4,5	2,6	13	13	0,035	61,0
5,5	160M	1LA7 164-8AB..	710	83,5	0,73	13	73	2,3	4,7	2,7	13	6	0,043	70,0
7,5	160L	1LA7 166-8AB..	715	85	0,72	17,7	100	2,7	5,3	3,0	13	6	0,062	91,0

Příklad pro objednací číslo - označení pro napětí a tvar

Objednací číslo	číslice na 11. místě: označení napětí					číslice na 12. místě: označení tvaru						
	50Hz					60Hz						
	Δ/Y			Δ/Y				IM B3	IM B5	IM B14	IM V1	IM B35
	230/400V		500VY	400/690V		500V Δ	460V Δ				se stříškou	
1LA7 050 až 1LA7 134	1	3		6	5	6		0	1	2 nebo 3	4	6
1LA7 163 až 1LA7 166	1	3		6	5	6		0	1	–	4	6

Jiné napětí: číslice 9 na 11. místě

Pozn.: Účinnost elektromotoru o výkonu větším než 1 kW v provedení 2-pól a 4-pól odpovídá eff 2 dle dohody CEMEP (vyznačeno na výkonovém štítku elektromotoru).

PŘEDSTAVUJEME

HARDOX® 550 - PRVNÍ KALENÝ OTĚRUVZDORNÝ PLECH S TVRDOSTÍ 550 HB

V současné době existuje již 5 druhů ořezavzdorných plechů HARDOX. Tvrdosti těchto ocelí začínají na 350 HB a končí v současné době na 600 HB. Jednotlivé řady plechů HARDOX se vzájemně liší i úrovní houževnatosti a zpracovatelnosti.

Má tedy význam, do této škály tvrdosti a dalších vlastností, vkládat další řadu ocelí HARDOX? Jaké místo chce vlastně HARDOX 550 zaujmout? Co bude hlavní předností této oceli a kde budou případná rizika při jejím uplatnění? Jaké by měly být typické aplikace této oceli?

Mechanické vlastnosti

HARDOX 550 existuje v tloušťkách od 10 do 50 mm a garantuje tvrdost 550 HB (± 25 HB). Tato tvrdost odpovídá pevnost (Rm) 1700 MPa a mez kluzu (Rp0,2) 1400 MPa. Typická hodnota vrubové houževnatosti KV (-40°C) je 30 J. Očekávaná tažnost (A5) je 7 %. Nejpozoruhodnější vlastností je úroveň houževnatosti. Zatímco hodnota tvrdosti leží uprostřed mezi ocelmi HARDOX 500 a HARDOX 600, je úroveň houževnatosti stejná jako u měkčí oceli HARDOX 500. Houževnatost KV=30J znamená současně vyšší hodnotu než má většina kalených ocelí o tvrdosti 400 HB!

Zajímavý je také garantovaný rozptyl tvrdosti. Rozptyl ± 25 HB je pokračováním trendu, který zahájila ocel HARDOX 450. Současné ořezavzdorné oceli zaručují tvrdost většinou v rozmezí ± 40 HB (některé značky ± 30 HB). V situaci, kdy je tvrdost prakticky jedinou garantovanou vlastností ořezavzdorných ocelí, je velikost rozptylu důležitým indikátorem



kvality oceli. Říká totiž, s jakou přesností je výrobce schopen dodržovat technologické předpisy při výrobě. Současně nám velikost rozptylu tvrdosti ukazuje, jak velký pravděpodobně bude i rozptyl dalších (negarantovaných) vlastností příslušné oceli, např. houževnatosti.

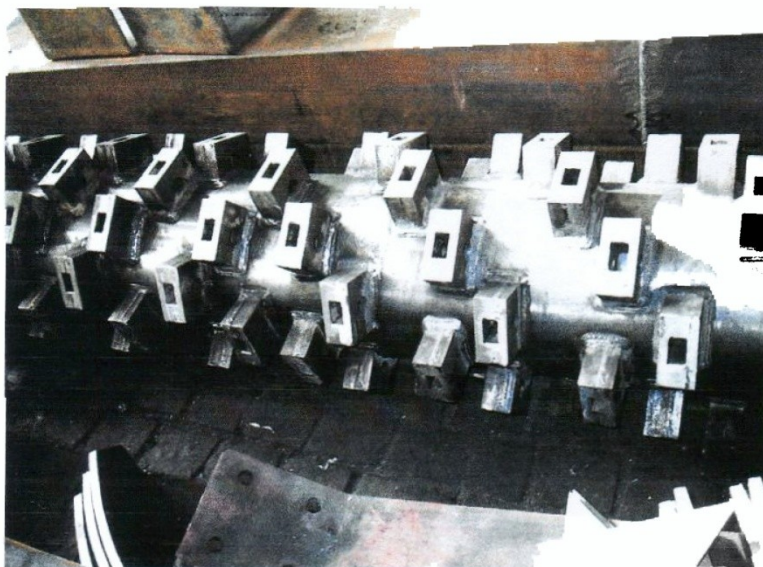
Technologické vlastnosti (zpracovatelnost)

Kromě ohýbání jsou u oceli HARDOX 550 definovány technologické parametry prakticky ke všem běžně používaným způsobům zpracování. Znamená to, že lze tuto ocel termálně dělit, svařovat, vrtat, zahlubovat a obrábět. Je pochopitelné, že při tvrdosti 550 HB, bude třeba vcelku důsledně dodržovat doporučené technologické parametry. I přesto, že ocel HARDOX 550 leží svou tvrdostí v polovině mezi ocelmi HARDOX 500 a HARDOX 600, je její ambicí být zpracovatelností blíže oceli HARDOX 500. Teprve rozsáhlejší praktické zkušenosti s jejím zpracováním ukáží, zda se tato ambice naplní. Nicméně již diskutovaná nezhoršená houževnatost oproti oceli HARDOX 500 je i pro zpracovatelnost určitým příslibem.

Dělení plamenem se provádí do tloušťky 20 mm bez předehřevu nebo bez omezení rychlosti dělení. Pro větší tloušťky plechu se doporučuje snížit rychlost dělení, nebo aplikovat předehřev 100 až 150 $^{\circ}\text{C}$. Svařování lze provádět austenitickým nebo feritickým přídavným materiálem. Z „austenitu“ se doporučuje elektroda OK 67.45 nebo drát OK Autrod 16.95. V těchto případech lze svařovat bez předehřevu do tloušťky plechu cca 15 mm. Na větší tloušťky se aplikuje mírný předehřev 50 $^{\circ}\text{C}$. V případě použití



STROJNÍ kaleidoskop



feritického přídavného materiálu se doporučuje drát OK Autrod 12.51, a přehřev je v tomto případě 125 až 200 °C.

Otěruvzdornost

50 Brinellů navíc k oceli HARDOX 500 by mělo přinést znatelné zvýšení životnosti. V případě třecí abraze se očekává zvýšení (oproti oceli s tvrdostí 500 HB) o cca 50 % pro vápenec, cca 200 % pro čedič a 40 % pro žulu. Pokud vezme v úvahu i určitý podíl rázové abraze a neidentifikovatelnou směs minerálů způsobujících otěr (častá situace v případě recyklace), pak lze velice zhruba odhadnout průměrný nárůst životnosti o 50 až 60 % vůči oceli o tvrdosti 500 HB.

Aplikace

První přirozenou oblastí aplikací jsou případy, kdy byla dosud používána ocel o tvrdosti 500 HB a je potřeba zvýšit životnost i za cenu vyšších nákladů na materiál a náročnějšího zpracování. Typickými aplikacemi budou kladiva v kladivových mlýnech, drtící resp. stříhací segmenty nožových mlýnů. Tvrdostí 550 HB se tato ocel stala zajímavou alternativou k manganovým ocelím (odlítům). Manganové oceli dosahují

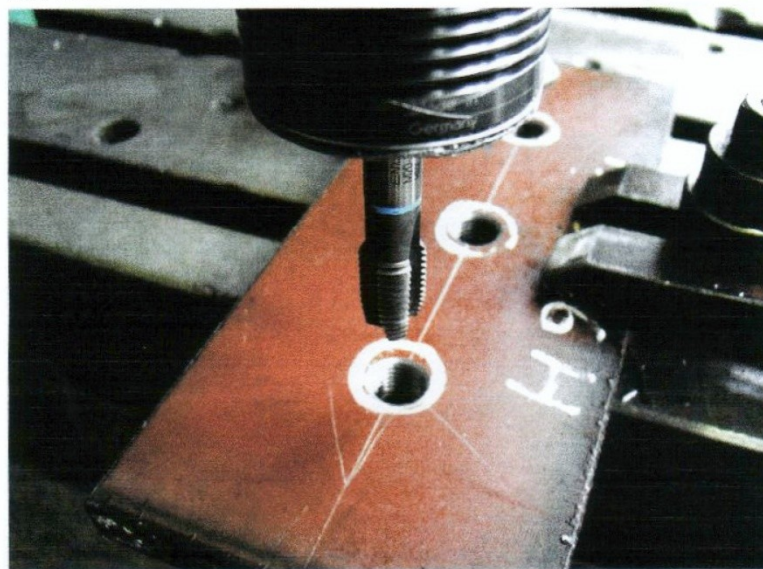
v ideálních případech v povrchové vrstvě tvrdosti právě 550 HB. Pokud nejsou splněny ideální podmínky abrazivního namáhání zpevňuje se manganová ocel pouze na tvrdost 400 až 500 HB.

HARDOX 550 bude mít při všech druzích abraze tvrdost 550 HB, přičemž stejná tvrdost bude zachována v celém průřezu tloušťky plechu tak, jako u všech ostatních ocelí HARDOX.

Kromě již zmíněných aplikací bude tato otěruvzdorná ocel zejména vhodná pro rozvíjející se oblast recyklací, to znamená pro otěruvzdorné díly zpracovávající odpady, od domovního odpadu, drcení umělých hmot, až po zpracování ocelového šrotu nebo stavebního odpadu.

Je očividné, že HARDOX 550 vznikl z podobných pohnutek jako před cca deseti lety HARDOX 450. To znamená mít ocel, která bude o něco tvrdší než stávající standard, ale bez podstatného zhoršení technologických vlastností a houževnatosti. Je zřejmé, že vyšší tvrdost bude vždy na úkor zpracovatelnosti. Zdá se ale, že přece jenom bude zpracovatelnost této oceli blíže oceli HARDOX 500 než HARDOX 600. Třešničkou na dortu a malým technickým zázrakem je pak zachování stejné houževnatosti jakou má ocel HARDOX 500.

ivan.mika@ssabox.com



Tabulka vlastností ocelí HARDOX

	Tvrdost (HB)	Houževnatost KV, -40°C (J)	Pevnost Rm (MPa)	Tažnost A5 (%)	Svařitelnost	
					CEV	CET
HARDOX HiTuf	340 ±30	95	980	16	0,56	0,38
HARDOX 400	400 ±30	45	1250	10	0,37	0,26
HARDOX 450	450 ±25	35	1400	10	0,47	0,34
HARDOX 500	500 ±30	30	1550	8	0,60	0,42
HARDOX 550	550 ±25	30	1700	7	0,72	0,48
HARDOX 600	605 ±35	20	1850	7	0,73	0,55

Hodnoty tvrdosti jsou garantovány, ostatní údaje jsou typickými hodnotami pro tloušťku plechů 20 mm (50 mm pro HARDOX HiTuf)

Příloha [C] Vizualizace drtiče litiny:

